



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESTUDIO DE LA TECNOLOGÍA PARA GENERAR  
PROTOTIPOS  
RÁPIDOS**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
(AREA MECANICA)**

**PRESENTA:**

**GERARDO OLVERA AGUILAR**

**DIRECTOR DE TESIS**

**DR. JAVIER CERVANTES CABELLO**



**MÉXICO, D. F.**

**2007**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos:

A mis padres:

Por la tolerancia, amor y

confianza

Sr. Antonio Olvera L

(q.e.p.d)

Sra. Lucia E Aguilar de O

A mis hermanos y

hermanas:

Y a su familia por ser  
benefactores y por el  
cariño, admiración y  
respeto así como afecto  
que es recíproco.

A mi hijo:

A Yussel por su  
comprensión esperanza y  
constancia. El estudio no se  
realiza para alcanzar lo  
material, ello viene después  
Con el esfuerzo se  
consigue lo más importante  
Lo que debe de permanecer  
es la mente lucida y el  
espíritu abierto.

Con respeto y admiración a mi asesor

---

Dr. José Javier Cervantes Cabello  
Al honorable jurado

---

Ing. Ubaldo Eduardo Márquez Amador  
M.A. Jesús Ruviroza López

---

Dr. Álvaro Ayala Ruiz  
M.I. Héctor Raúl Mejía Ramírez

A la Facultad de Ingeniería maestros, compañeros y amigos

# CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVO</b>	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>HISTORIA DEL PROTOTIPO RÁPIDO</b>	
1.1 Introducción	4
1.2 Definición de Prototipo Rápido	4
1.3 Fundamentos Históricos del Prototipo Rápido	5
1.4 Historia paralela al desarrollo de las computadoras	9
1.5 Cronología los procesos de Prototipo Rápido	10
<b>CAPÍTULO 2</b>	
<b>COMPONENTES QUE GENERAN EL PROTOTIPO RAPIDO</b>	
2.1 Introducción	17
2.2 Generalidades del Prototipo Rápido	17
2.3 CAD	18
2.4 CAM	19
2.4.1 Sistema CAD/CAM	19
2.5 Láser	21
2.6 Materiales de manufactura rápida.	21
2.6.1 Clasificación de materiales de Prototipo rápido	23
2.6.2 Propiedades adicionales a los materiales	27
2.7 Automatización	31

## CAPÍTULO 3

### SISTEMAS QUE INTEGRAN LAS MAQUINAS DE PROTOTIPOS RÁPIDOS

3.1	Introducción	36
3.2	Principales Sistemas	36
3.3	Sistema Operativo	37
3.3.1	Componentes en el proceso de prefabricación (diseño)	37
3.4	Sistemas de Fabricación	38
3.4.1	Interacción de los sistemas	39
3.5	Métodos en la fabricación Prototipo Rápido	40
3.6	Clasificación de sistemas de Prototipo Rápido por proceso.	41
3.6.1	Clasificación por tipo de material de Prototipo Rápido	43
3.7	Elaboración de modelos para PR	45

## CAPÍTULO 4

### PROCESOS DE PROTOTIPOS RÁPIDOS.

4.1	Introducción.	46
4.2	Estereolitografía	46
4.2.1	Proceso de fabricación en Estereolitografía	47
4.2.2	Foto polimerización	47
4.2.3	La función del láser en Estereolitografía	48
4.2.4	Detalle de fabricación en estereolitografía	50
4.2.5	Esquema en detalle	50
4.2.6	Ventajas de la Estereolitografía	52
4.2.7	Desventajas de la Estereolitografía.	53
4.3	Manufactura de objeto laminado LOM	53
4.3.1	Técnicas de corte	59
4.3.2	Ventajas de la manufactura de objeto laminado	60
4.3.3	Desventajas de la manufactura de objeto laminado	60
4.4	Sinterizado de láser selectivo SLS	61
4.4.1	Materiales en polvo utilizados en el proceso	62

4.4.2	Detalle de fabricación sinterizado de láser selectivo SLS	62
4.4.3	La Función de láser sinterizado de láser selectivo SLS	64
4.4.4	Ventajas de sinterizado de láser selectivo	66
4.4.5	Desventajas de sinterizado de láser selectivo	67
4.5	Deposición de Modelo Fundido FDM	67
4.5.1	Proceso Deposición de Modelo Fundido FDM	68
4.5.2	Ventajas de sinterizado de láser selectivo	71
4.5.3	Desventajas de sinterizado de láser selectivo	71

## CAPÍTULO 5

### MÉTODOS, PROCESOS Y APLICACIONES RELACIONADOS CON PROTOTIPOS RÁPIDOS

5.1	Introducción	73
5.2	Procesos de Manufactura	73
5.3	Herramienta Rápida HR	76
5.3.1	Procesos directos para Herramienta Rápida (HR)	76
5.3.2	Implicación del Prototipo Rápido en Herramienta Rápida	77
5.4	Proceso directo	78
5.5	Aplicaciones de Prototipo rápido	79
5.5.1	Resultado de un modelo en Estereolitografía	79
5.6	Aplicaciones del proceso laminado (LOM)	80
5.7	Aplicaciones sinterizadas de láser selectivo (SLS)	82
5.8	Aplicaciones Deposición de Modelo Fundido (FDM)	85
5.8.1	Producto final en Deposición de Modelo Fundido (FDM)	86
5.9	Aplicaciones Biomédicas	87

## **CAPÍTULO 6**

### **COSTOS**

<b>6.1</b>	<b>Introducción</b>	<b>89</b>
<b>6.2</b>	<b>Demanda de Prototipos Rápidos</b>	<b>89</b>
<b>6.3</b>	<b>Costo de máquina</b>	<b>90</b>

	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>93</b>
--	---------------------	-----------

	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>94</b>
--	---------------------	-----------

	<b>SITIOS DE INTERNET REFERENTES AL PROTOTIPO RÁPIDO</b>	<b>100</b>
--	--	------------

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años han surgido nuevas formas de procesar y fabricar piezas mecánicas con máquinas innovadoras que permiten con tecnologías y materiales diferentes, obtener un prototipo de un modelo o de un molde, de manera precisa y rápida a partir del modelo generado en sistema CAD. Tales máquinas son conocidas como máquinas de Prototipo Rápido. Estas máquinas posibilitan una mayor velocidad y menor costo en la obtención de prototipos comparados con los procesos tradicionales de fabricación. Más allá de esto, en ciertos casos estas técnicas permiten la obtención de matrices capaces de producir una cierta cantidad de piezas, ideal para el uso en la producción de lotes piloto. La tecnología posibilita que las empresas puedan desarrollar productos con más rapidez y a menor costo, principalmente con un incremento en la calidad por medio de una mejor evaluación del proyecto. Dando pie también a una disminución de dudas y de riesgos.

Al contrario de los procesos de fabricación que remueven material de una pieza para obtener el modelo deseado, los sistemas de Prototipo Rápido (PR) trabajan básicamente de 4 maneras (existen más de cuatro pero el resto se deriva de cada una de ellas).

La primera es generando la pieza a partir de la unión aditiva de líquidos (resinas), capa por capa esto es el concepto de Estereolitografía (SLA), en la segunda se añade una capa a otra capa una vez que cada una de estas es trazada y cortada, de una lámina de material sólido (papel) a este proceso se le conoce como Manufactura de Objeto Laminado (LOM), el tercer proceso es un proceso de unión sinterizada con materia prima como el polvo a este se le conoce como Sinterizado de Láser Selectivo (SLS) y por último el cuarto proceso conocido como Deposición de Modelo Fundido (DMF) que es un proceso de extrusión a base de micro filamentos .

Cada uno de estos procesos presenta un método y técnica en particular y estos procesos convergen cuando en la fase de concepción, creación y desarrollo de un producto

intervienen los conceptos CAD (diseño y desarrollo del producto) y CAM (creación en 3DP). La necesidad de recurrir a cada uno de los procesos mencionados es en cuanto a modos y formas de estas decimos que una pieza establece formas geométricas, dimensiones y tolerancias así como tratamiento de superficie y acabado, todo ello depende del material y de las intenciones del proyecto. Por lo que se refiere a modos como ejemplo, se cuestiona si es posible construir un cráneo a base de capas de papel creando un modelo pero esto no es práctico, al momento de hacer el molde. Lo anterior refiere al uso correcto de información y conocimiento en la aplicación de cualquiera de estos procesos y los criterios establecidos en la selección de máquinas para generar un Prototipo Rápido dependen de la aplicación y la descripción del proyecto.

## **OBJETIVO.**

Recopilar información acerca de los procesos actuales destinados a la fabricación de modelos conocidos como prototipos rápidos, así como de los equipos, métodos y materiales usados en esta tecnológica.

# CAPÍTULO 1

---

## HISTORIA DEL PROTOTIPO RÁPIDO

### 1.1 Introducción

Éste capítulo presenta los antecedentes históricos y tecnologías que han tenido participación en el desarrollo de los prototipos rápidos, los cuales han sentado bases en las que se sustentan los métodos de producción de prototipos rápidos que hoy conocemos.

### 1.2 Definición de Prototipo Rápido

El concepto de prototipo rápido es aplicado a las técnicas que permiten generar, patrones, modelos o piezas en tiempos reducidos mediante el empleo de diversos procesos, tales como: Estereolitografía (SLA), Manufactura de Objeto Laminado (LOM) Sinterizado de Láser Selectivo (SLS) y Deposición de Modelo Fundido (DMF). De tal forma que el presente trabajo muestra elementos y componentes con los que cuenta cada uno de los procesos, con sus respectivos métodos explicados de una manera simple.

### 1.3 Fundamentos Históricos del Prototipo Rápido

Algunos autores opinan que el desarrollo del prototipo rápido esta estrechamente ligado con el desarrollo y aplicación de las computadoras dentro de la industria. Los conceptos tecnológicos en principio son los relativos al diseño y manufactura que en cuestión de corto tiempo se han integrado al aparato productivo industrial y gracias a estos conceptos tecnológicos como son el CAD-CAM, han incrementado el uso de la computadora dentro de la rama industrial. Ya desde hace tiempo gracias a estos conceptos se vienen utilizando las máquinas de control numérico.

Las tecnologías relacionadas con PR en la siguiente tabla 1.1<sup>13</sup>.

**Tabla 1.1 Desarrollo histórico de prototipo rápido y otras tecnologías relacionadas**

Año de registro	Tecnologías
1770	Mecanización
1946	Primera computadora
1952	Primera máquina de control numérico
1960	Primer láser comercial
1961	Primer robot comercial
1963	Primer sistema gráfico interactivo
1988	Primer sistema comercial de prototipo rápido

Las tecnologías anotadas en la tabla 1 se desglosan con mayor detalle en los siguientes párrafos.

- a) Mecanización <sup>55</sup>Los primeros tornos mecanizados, creados en Inglaterra producían artículos en serie, empleando madera como materia prima y como molde una herramienta de corte que le daba la forma del modelo a producir.

---

13) Chua C. K., Leong K. F. and LIM C. S.” Rapid Prototyping” Nan yang Technological University, Singapore.

55) Manual del tornero dirección cablegráfica“TWINS”South Bend EUA, Distribuido por LEON WELL.

- b) Primera computadora<sup>8</sup>: la primera computadora fue el Mark I desarrollada por IBM y la universidad de Harvard en 1944 (totalmente electromecánica) una máquina difícil de manejar, para 1947 el ENIAC una computadora de tubos al vacío completamente electrónica fue desarrollada en la universidad de Pensilvania, estas dos máquinas el Mark I y el ENIAC sirvieron como antecedente para comercializar, el IBM650.
- c) Primera máquina de control numérico<sup>21</sup>: la planeación y límites del artículo a producir contaban con una tecnología de automatización consistente en Relevadores electromecánicos y controles dirigidos por sistemas neumáticos e hidráulicos auxiliados de la naciente electrónica basándose en microprocesadores transistorizados, algunas industrias como FANUC lanzaron tornos mecánicos semiautomáticos utilizando el sistema binario (1 para encendido, 0 para apagado) concepto aplicado obligada y metódicamente de manera sustancial en los aparatos cuyo avance tecnológico corría en los años 60s.
- d) Primer láser comercial<sup>31</sup>: Ya desde 1917 las investigaciones sobre “luz amplificada y lumínica de emisión estimulada”, Se realizaron y sus causas y efectos no se habían de esperar hasta la década de los 60’s (investigaciones, aplicaciones y usos precisos con cadmio y helio).

---

8) Byron S Gottfried” Programación Basic” Edit Mc Graw Hill Edición en Español 1983 Cáp. 1 pags3-4 (introducción a las computadoras).

21) De Berg. M.”Computational Geometry: Algorithms and Applications”.Springer-Verlag. NewYork1997.

31) Girouard, D. (1993a), "The SLSTM selective laser sintering process: technology, applications, and materials for advanced rapid prototyping", Proceedings of the IBEC '93, Detroit, pp.10-14.

Se tiene referencia del láser como registro comercial en aplicación de un interferómetro, dispositivo que sirve para alinear equipos pesados de construcción, más sin embargo hoy se conocen aplicaciones antes no imaginadas desde el ramo científico, industrial hasta el artístico pasando por el de entretenimiento.

A continuación se anotan las aplicaciones del láser en cada especialidad

- d.1)** Aplicaciones industriales; comunicaciones, sistemas de rastreo y medición y el uso secundario de corte y soldadura inclusive micro soldaduras en microcircuitos. Un aporte en fotografía tridimensional llamada holográfica que asistida con sistemas geométricos y algoritmos realizado a partir un banco de datos, da como resultado un objeto prefabricado (prototipo rápido).
  
- d.2)** Aplicaciones biomédicas; aun cuando el uso del láser en este rubro tiene más consumidores, las aplicaciones se resumen a cirugías en cualquier campo de la medicina, y desde hace tiempo tiene una importante función en control y tratamiento contra el cáncer, una aplicación que interviene en buena medida con los adelantos en ingeniería de la genética es en cuanto a identificar y separar cromosomas vía láser para observar la relación entre el material genético y la enfermedad.
  
- d.3)** Aplicaciones científicas; aunque los consumidores en este rubro han sido escasos las aplicaciones son variadas y múltiples algunas como separadores de moléculas de uranio en plantas nucleares, desde hace tiempo se tiene registrado el tipo de gases que producen las estrellas y gracias a los láser base líquido. También

podemos decir que la fibra óptica es un logro de una investigación de hace 35 años, del instituto MITSU de Japón al perforar con un rayo láser un filamento del grueso de un cabello y de 75 cm. de largo, hoy es bastante común pero en los 70s fue un gran acontecimiento.

- e) Primer robot comercial; los primeros robots comerciales fueron adquiridos por industrias como la Ford y la Chrysler, estas máquinas no ejecutaban tareas con simple repetición la adquisición se debió a elevar el nivel de producción y las máquinas en su momento llamadas autómatas diseñadas y construidas por los grandes consorcios en aquel tiempo, fueron General Motors y Electric montaron mecanismos básicamente relevadores electromecánicos con giro.

Estas máquinas eran simples en comparación de lo que conocemos hoy en día.

- f) Primer sistema gráfico interactivo<sup>20</sup>; aunque IBM iba a la cabeza en cuanto a ventas y renta de equipo de cómputo el Instituto de Massachussets como otros centros de investigación para la computación desarrollaban sistemas digitales y analógicos los cuales sirvieron para la ejecución de gráficos a partir de un archivo de datos. Prácticamente en 1955 el primer sistema gráfico SAGE (Semi Automatic Ground Envioerement) de la Fuerzas aéreas norteamericanas (US Air Force's) lo desarrolla en el Lincoln Laboratory del (Massachusetts Institute of Technology). Para 1965 en ITEK Control Data Corp comercializa el primer CAD con un precio de 500.000 DLLS.

---

20)De Garmo, E.P., Black J.T., and Kohser, R.A. Materials and processes in Manufacturing. 8TH ed. Wiley, New York, 1997.

El Prof. J. F. Baker Jefe del Cambridge University Engineering Department, inicia las investigaciones en Europa trabajando con una computadora gráfica PDP11. A. R. Forrest realiza el primer estudio de investigación con un CAD, realizando intersección de dos cilindros.

g) Primer sistema comercial de prototipo rápido<sup>75</sup>; antes de su comercialización el primer sistema prototipo rápido el cual se conoce como estereolitografía, tuvo una patente realizada por Charles Hull entonces Vicepresidente de Engineering for UVP. Inc. La comercialización es ya hecha por 3D System con Hull como presidente.

#### **1.4 Historia paralela al desarrollo de las computadoras.**

La incorporación de los elementos tecnológicos que actúan ahora como software en auxilio del proceso en el desarrollo de prototipo rápido no es creación espontánea, aun cuando algunos de estos elementos y sistemas, sean novedad en el mercado. Ya desde hace más de treinta años el desarrollo tecnológico dentro del mercado de cómputo, hacia trabajo paralelo al desarrollo de sistemas. Uno de estos ejemplos fue el desarrollo de gráficos, trazos e incorporación de un sistema de dibujo a los sistemas CAD.

En la tabla 1.2 se muestra la cronología de elementos y sistemas paralelos aportados que son aprovechados en el diseño y generación de Prototipos Rápidos.

---

75) Ulerich, P.L. (1992), "Rapid prototyping: cornerstone of the new design process", Proceedings of the 1992 ASME International Conference on Computers in Engineering, Computers in Engineering, ASME, New York, NY, pp.275-81.

**Tabla 1.2 Cronología de elementos y sistemas paralelos a PR**

FECHA	EMPRESA, NOMBRE, O LUGAR	APORTACION
1974-1978	ROCKWELL Y TEXAS INSTRUMENT	Sistemas Gráficos Cálculos.
1986	Gul Agha, Universidad de Illinois	Incorporación de Componentes Múltiples en el Software
1986	CrOS III	Cubix (Manual de Sistema de Archivo). Plotix(Manual gráfico)
1986	Arvind, Nikhil, y Pingali((MIT)Massachusetts Institute of Technology)	Identificación del lenguaje o identificación del lenguaje con la estructura arquitectónica de la máquina (Ej. el llamado lenguaje máquina).
1987	Chuan-Qi Zhu y Pen-Chung Yew	Describen los algoritmos de tiempo corrido y esta implementación es la sincronización de los multiprocesadores Cedar
1988	Piyush mehrotra y John van Rosendale	Describen Kali el primer lenguaje que permite el uso específico de distribución de datos en una máquina MIMD, muchas de estas ideas fueron aprovechadas por fortran en HPF
1989	Murray cole,	En la universidad de Edimburgo propone el uso de algoritmos skeletons, como bases paralelas a la programación funcional
1990	Fujitus ships	El primer operador integrado de vectores para máquinas.

### **1.5 Cronología de los procesos de PR<sup>26</sup>.**

- 1) (1986) La patente de la Estereolitografía es un proceso el cual fue asignado a un grupo de especialistas, cuya dirección corrió a cargo de Charles Hull (las investigaciones y creación se hicieron en 1984) en la empresa 3DSystem este proceso; la estereolitografía a mediados de los 80's, utiliza el método de unir capas muy parecido, a la manera de barnizar una superficie, y precisamente a la forma de solidificar dicha superficie se le llama curar más adelante se especifica el proceso para cada tipo de plástico, sin embargo el proceso estéreo litográfico, solidifica de un depósito de líquido (polímero), una sección de área seleccionada con un rayo láser(predeterminado) para extraer posteriormente el modelo, es decir cura las capas que automáticamente quedan unidas.

---

<sup>26</sup>Freeform fabrication", *JOM*, Vol. 45 No.11, pp(1998).66-70.

2) (1987-1989) Comercialización de equipo para procesos de Estereolitografía el cual consiste en el empleo de un láser UV que se proyecta sobre un baño de resina fotosensible líquida expuesta a la polimerización sus siglas de uso tanto comercial como industrial en el mercado son SLA. Este proceso no se crea aisladamente, para su comercialización. Se tienen conceptos técnicos y tecnológicos, tales como CMM (Coordinate Measurement Machines) máquinas de medición por coordenadas, DCC (Digital Content Creation) creación de contenidos digital, CAD (Computer Aided Design), RE (Reverse Engineering) <sup>56</sup> y por último el concepto RP, este último maneja todos los conceptos en conjunto de tal manera que se entienda que son máquinas y materiales.

3) (1988-1989) Dos años antes se termina de realizar la investigación de el proceso de infiltrar material, esto muy parecido a imprimir un objeto como una impresora de fotocopiado, este trabajo corrió a cargo de Itzachak Pomerantz de Scitex Corporation esta patente, tuvo como título “Sistema tridimensional de mapeo y modelado”, la patente vino a sentar las bases de la Solider 5600 con la invención de Base Sólida Curada SGC. Quien tiene el cargo de llevar a cabo esta innovación es el equipo de Cubital empresa ubicada en Israel, Cubital ya había trabajado en productos hechos de fibra cuya resistencia en el producto final es resultado de una minuciosa reticulación. El proceso en sus trabajos anteriores lo llevo a realizarlos aplicando la foto polimerización por luz UV, igual que en la estereolitografía pero la irradiación se lleva a cabo con una lámpara de potencia solidificando simultáneamente capa por capa, y con ello modifíco el sistema, descubriendo que esta irradiación puede fotocopiar capa sobre capa formando relieves.

- 4) (1991) La extrusión de material a través de un tubo, y guiados por un robot, son investigaciones llevadas a cabo por S. Scott Crump en 1988. La patente se archiva meses antes de su comercialización de aparatos y equipo para el proceso de FDM<sup>53</sup>. La empresa Stratasys en aquel entonces dirigida por Eden Prairie, hace una interacción entre lo que se denomina manualidad y creación instantánea, esta técnica la describe la empresa como un proceso similar a la decoración de un pastel, se va depositando la pasta extrudida, sobre la superficie de interés, con la diferencia que en el proceso la pasta es en pequeños filamentos y su deposición es controlada capa por capa. Aun sin la comercialización de estos aparatos se llevan a cabo pruebas del proceso en compañías tales como General Motors, Pratt & Whitney y Texas Instruments. Trabajos que de alguna manera, se consiguen hacer a través de un dispositivo de extrusión, filamentos o hilos que van siendo depositados consecutivamente uno sobre otro hasta conseguir la forma requerida por el CAD.
- 5) (1992) Carl Deckard quien hace una tesis para conseguir su maestría ante la universidad de Texas, patenta en 1989<sup>56</sup>, el sinterizado de laser selectivo SLS y auspiciado por la corporación DTM, Comercializa los equipos y aparatos para el proceso SLS, el proceso se basa en depositar, una capa de polvo y mediante un láser CO<sub>2</sub> se sinteriza el polvo en los puntos seleccionados capa por capa. Hay que tener en cuenta que al igual que los otros procesos PR, interactúan con otras empresas tales como General Motors, Kodak, Plynetics, con obviada a las investigaciones llevadas a cabo por Sandia Nacional Laboratorios.

---

53) Lewis, G.K. (1995), "Direct laser metal deposition process fabricates near-net-shape components rapidly", *Materials Technology*, Vol. 10 pp.3-4.

- 6) (1991-1992) Comercialización de equipos y aparatos para desarrollo del proceso, LOM<sup>56</sup>. En 1985 Michael Feygin, presidente de Hydronetic Inc, desarrolla este proceso con placas de papel y adhesivo con diseños bien estructurados y con ayuda de 3D Modeling. En 1989 adquiere la patente junto con el cambio de nombre empresarial, quedando como Helisys of Torrance. El proceso LOM bien explicado por los expertos, es casi similar al suaje (corte por contornos) para delimitar el corte de un contorno, pero en este proceso desarrollado por Helisys de Torrance, consiste en hacer corte de láminas (papel u otro material) para después adherirlo a la capa siguiente, todo ello con los procedimientos técnicos requeridos calor controlado y corte por láser.
- 7) (1993) La empresa americana Soligen comercializa los aparatos y equipos DSPC producción de colada de placa directa (por sus siglas en ingles; Direct Shell Producción Casting)<sup>56</sup>, y quien desarrolla y patentó el proceso es el MIT (Massachusetts Institute of technology) utiliza y aprovecha en gran medida las técnicas de inyección similares a la de impresión de tinta utilizando líquidos emulsionantes en polvos cerámicos para producir objetos con cavidades que pueden servir en la producción de moldes y piezas inyectadas.

---

56) Marshall Burns "Automated fabrication improving productivity in manufacturing".

En 1994 surgieron otras tecnologías conservando la esencia del moldeado:

- a) Model Maker de la empresa americana Sanders Prototype, usando sistema de inyección de cera ( Ink-jet wax).
- b) Solid Center de la empresa japonesa Kira Corp, utilizando un sistema láser guiado y un ploter xy para la producción de moldes y prototipos por laminación de papel.
- c) Sistema de estereolitografía de la empresa Fockele & Schwarze en (Alemania).
- d) Sistema EOSINT, de la empresa alemana EOS basado en sinterización.
- e) Sistema de estereolitografía de la empresa japonesa Ushio.

A continuación se presenta la tabla 1.3 de compañías e institutos de investigación, responsables del desarrollo de PR.

**Tabla 1.3 Orden cronológico de equipos para Prototipo Rápido**

<b>Compañía Fabricante</b>	<b>Nombre del equipo</b>	<b>Fecha Comercial</b>	<b>Siglas del Proceso</b>	<b>Volumen de trabajo (in)</b>	<b>Materiales Empleados</b>
3D SYSTEMS E.U.A	SLA-250	1988	SLA	10 en cubo	Resinas Fotosensibles y Vinil
D-MEC Sony/JSR Japón	SCS 1000-D	1989	Solid Creating System SLA	Dato no incluido fuera de compra	Poliuretano
Electro Optical Systems (EOS) Alemania	EOSINT 350 Plástico	1990	SLS	13.4x13.4x23.2	Plástico
3D SYSTEM	SLA-190	1990	SLA	7.5X7.5X10	Resinas fotosensibles

E.U.A					y vinil
Stratasys E.U.A	FDM-2000		FDM	10x10x10	cera
Cubital israelí	Solider 5600	1991	SGC	14x20x20	Polipropileno
	EOSINT 250 Metal	1992	SLS	9.8x9.8x5.9	Metal
Helisys EE.UU.	LOM-1015 LOM-2030	1992	Laminated Object Manufacturing	10x14x15 30x20x20	Papel Placas de poliestireno
DTM EE.UU.	Sinterización 2000	1992	selective laser sintering	12in diam.15in altura	Poli carbonatos Metales Arena
Kira Corp Japón	KSC-50	1992-1994	LOM	15.7X11X11.8	Papel
Teiji Seiki Company, Ltd Japón	SOLIFORM 500	1992-1994	SOMOS(SLA)	Dato no incluido fuera de compra	Acrilato
Z corporation EE.UU.	Z402	1992-1994	3DP	8x10x8.5 in	CO <sub>2</sub> y otros materiales compuestos
Soligen EE.UU.	DSPC	1992-1994	3DP(DSPC)	Dato no incluido Fuera de compra	Cerámicos
Soligen EE.UU.	EOSINT700 Fundido de Arena	1992-1994	SLS	Dato no incluido Fuera de compra	Silicatos
Sanders Prototype E.U.A	MM-6B	1994	ink-jet	Dato no incluido Fuera de compra	Termoplástico Cera usada Como soporte
Cubital Israel	Solider 4600	1994	Solid Ground Curing	Dato no incluido Fuera de compra	acrilatos
Mitsubishi CMET Japón	SOUP 600 SOUP 850	1994-96	SLA SLA	24X16X16 33.5X23.6X19.7	Acrilato Y Resina Epoxica
Mitsubishi CMET Japón	ACTUA-2100	Noviembre 1996	SLS	Dato no incluido Fuera de compra	Materiales compuestos
Mitsubishi CMET Japón	LOM 2030H	1996	LOM	Dato no incluido Fuera de compra	Papel
Mitsubishi CMET Japón	Sinterización 2500	1996	SLS	Dato no incluido Fuera de compra	Materiales compuestos Resina "
3D SYSTEM E.U.A	SLA-350	1996	SLA	14X14X16	Resina "
Stratasys EE.UU.	Genesys	1996	3DP	8 al cubo	poliéster
3D SYSTEMS E.U.A	THERMOJET	1996	MJM	10x7.5x8	Termoplásticos
3D SYSTEMS E.U.A	Model Maker II	1997	Ink-ject		Caucho y cera
BPM TECNOLOGY EE.UU.	PERSONAL MODELER	1997	Ballistic Particle Manufacturing	6x8x10	Termoplásticos

Aaroflex EE.UU.	Solid imagerSS	1997	SLA	16 al cubo	acrilatos
Aaroflex EE.UU.	Solid Imagen AI	1997	SLA	22x22x27	acrilatos
Aaroflex EE.UU.	SLA-5000	1998	SLA	20X20X23	Resina Fotosensible Y vinil
Aaroflex EE.UU.	FDM-2000	1998	FDM	10x10x10	cera
Aaroflex EE.UU.	FDM-8000	1999	FDM	18x18x24	cera
3D SYSTEM E.U.A	SLA-3500	1999	SLA	13.8X13.8X15	Resina Fotosensible y vinil
3D SYSTEM E.U.A	SLA-5000	1999	SLA	20x20x23	Resina Fotosensible Y vinil
3D SYSTEM E.U.A	SLA-7000	1999	SLA	20x20x23.62	Resina Fotosensible Y vinil
Denken Engineering Company Ltd Japón	SLP-500	1999-2000	Fotolitográfico	Dato no incluido fuera de compra	Acrilato Prueba Epoxica
Extrude Hone EE.UU.	ProMetal RTS-300	1999-2000	3DP	12X12X12	Polvo de metal
Formus	Formus TSF	1999-2000	TSF	11X6X4	Cera y arena
Light sculping Inc EUA	LSI-0609 MA LSI-111 MA LSI-2224 MA	1999-2000	DesCAF DesCAF DesCAF	6X6X9 11X11X15 6X6X9	Dato no incluido fuera de compra
Sparx AB Suecia	HotPlot	1999-2000	LOM	Dato no incluido fuera de compra	Placas de poli estireno

## **CAPÍTULO 2**

---

### **COMPONENTES QUE GENERAN EL PROTOTIPO RAPIDO**

#### **2.1 Introducción**

El presente capítulo tiene como objetivo mostrar los elementos que interactúan para generar un prototipo rápido, aquí se presentan de manera independiente con el fin de explicar la función específica de dichos elementos, los cuales en su conjunto crean máquinas que elaboran diseños, siguiendo los conceptos que requiere el diseño tales como concepción, creación o desarrollo y finalmente aplicación de un modelo.

#### **2.2 Generalidades del Prototipo Rápido.**

Para que el Prototipo Rápido alcanzara el pleno desarrollo y los objetivos adecuados, cinco fueron los conceptos seleccionados para su construcción. El primero de ellos es el diseño tridimensional de modelos a través del CAD, el segundo el CAM que seguido del primero forma parte de los primeros pasos de un proceso en cadena, el tercero es el aprovechamiento de la invención del láser, el cuarto son los materiales los cuales son preparados antes del proceso y así obtener los productos de óptima fabricación y el quinto al que se hace referencia es la evolución, aplicación y desarrollo de los sistemas

de automatización con los cuales se enlaza cada uno de los tres conceptos técnicos anteriormente mencionados, a continuación se cita cada concepto.

### **2.3 CAD**

El primer concepto, es el diseño tridimensional realizado por computadora y lo podemos situar al final del periodo de las computadoras de primera generación, pero tiene su pleno desarrollo a partir de la aparición de las computadoras de cuarta generación en que aparecen los circuitos de alta escala de integración LSI (Large Scale Integration).

El proceso en el cual se utilizan las computadoras para mejorar la fabricación, desarrollo y diseño de los productos. Éstos pueden fabricarse más rápido, con mayor precisión o a menor precio, con la aplicación adecuada de tecnología.

Los sistemas de diseño asistido por computadora CAD, pueden utilizarse para generar modelos con las características de un determinado producto. Estas características pueden ser el tamaño, el contorno y las formas de cada componente, almacenadas como dibujos bi y tridimensionales. Una vez que estos datos dimensionales han sido introducidos y almacenados en el sistema informático, el diseñador puede manipularlos o modificar las ideas del diseño con mayor facilidad para avanzar en el desarrollo del producto. Además, pueden compartirse e integrarse las ideas combinadas de varios diseñadores, ya que es posible mover los datos dentro de redes informáticas, con lo que los diseñadores e ingenieros situados en lugares distantes entre sí pueden trabajar como un equipo. Los sistemas CAD también permiten simular el funcionamiento de un producto.

## **2.4 CAM**

Cuando los sistemas CAD se conectan a equipos de fabricación también controlados por computadora conforman los sistemas llamados CAM. La fabricación asistida por computadora ofrece significativas ventajas con respecto a los métodos más tradicionales de control de equipos de fabricación. Por lo general, los equipos CAM permiten la eliminación de los errores del operador y la reducción de los costos de mano de obra. Sin embargo, la precisión constante y el uso óptimo previsto del equipo representan ventajas aún mayores. Por ejemplo, las herramientas de corte se desgastarán más lentamente y se estropearían con menos frecuencia, lo que reduciría todavía más los costos de fabricación. Frente a este ahorro pueden aducirse los mayores costos de bienes de capital o las posibles implicaciones sociales de mantener la productividad con una reducción de la fuerza de trabajo. Los equipos CAM se basan en una serie de códigos numéricos, almacenados en archivos informáticos, para controlar las tareas de fabricación. Este Control Numérico por Computadora se obtiene describiendo las operaciones de la máquina en términos de los códigos especiales y de la geometría de formas de los componentes, creando archivos informáticos especializados o programas de piezas. La creación de estos programas de piezas es una tarea que, en gran medida, se realiza por software informático especial que crea el vínculo entre los sistemas CAD y CAM.

### **2.4.1 Sistema CAD/CAM**

Las características de los sistemas CAD/CAM son aprovechadas por los diseñadores, ingenieros y fabricantes para adaptarlas a las necesidades específicas de sus situaciones. Por ejemplo, un diseñador puede utilizar el

sistema para crear rápidamente un primer prototipo y analizar la viabilidad de un producto, mientras que un fabricante quizá emplee el sistema porque es el único modo de poder fabricar con precisión un componente complejo. La gama de prestaciones que se ofrecen a los usuarios de CAD/CAM está en constante expansión. Los fabricantes de la industria textil y del vestido, pueden diseñar el patrón de una prenda en un sistema CAD, patrón que se sitúa de forma automática sobre la tela para reducir al máximo el derroche de material al ser cortado con una sierra o un láser CNC. Además de la información de CAD que describe el contorno de un componente de ingeniería, es posible elegir el material más adecuado para su fabricación en la base de datos informática, y emplear una variedad de máquinas CNC combinadas para producirlo. La Manufactura Integrada por Computadora (CIM) aprovecha plenamente el potencial de esta tecnología al combinar una amplia gama de actividades asistidas por computadora, que pueden incluir el control de existencias, el cálculo de costos de materiales y el control total de cada proceso de producción. Esto ofrece una mayor flexibilidad al fabricante, permitiendo a la empresa responder con mayor agilidad a las demandas del mercado y al desarrollo de nuevos productos. La futura evolución incluirá la integración aún mayor de sistemas de realidad virtual, que permitirá a los diseñadores interactuar con los prototipos virtuales de los productos mediante la computadora, en lugar de tener que construir costosos modelos o simuladores para comprobar su viabilidad. También el área de prototipos rápidos es una evolución de las técnicas de CAD/CAM, en la que las imágenes informatizadas tridimensionales se convierten en modelos reales empleando equipos de fabricación especializada, es decir los modelos en principio concebidos son desarrollados con tal exactitud, como por ejemplo un sistema de estereolitografía.

---

57) McGervey JohnD." Introducción a la física moderna" Edit Trillas Refpags362-363(láser).

## **2.5 Láser<sup>57</sup>**

El tercer concepto es el láser, tiene detrás de si una serie de investigaciones de varias décadas. Desde 1917 las investigaciones sobre amplificador lumínico por emisión estimulada de radiación, se realizaron y sus causas y efectos no se habían de esperar hasta la década de los 60's. Para el caso en aplicaciones de prototipo rápido, esta emisión ayuda a encadenar mediante reacciones químicas y físicas los átomos de los materiales en proceso, y de esa manera se consigue el objetivo de formar un modelo (este proceso esta aplicado en estereolitografía base de los procesos de adición), otra aplicación en la formación de modelos es el corte o sustracción de material (como es el caso del proceso LOM), aunque en algunos procesos la herramienta de fabricación no necesariamente es el Láser (por ejemplo en la reticulización de algunos plásticos y en la unión o sinterización de materiales base polvo como por ejemplo los cerámicos), este láser es cambiado por luz ultravioleta y la principal consideración de estos dos conceptos es el foto proceso logrado con las condiciones pertinentes de longitud de onda para trabajar inicialmente la solidificación.

## **2.6 Materiales de manufactura rápida<sup>53</sup>.**

Este tema que es el cuarto concepto, expone los principales materiales utilizados en los equipos de prototipo rápido así como las características físicas y propiedades mecánicas, adecuadas al proceso y manufactura por RP.

Entonces de una manera sinóptica para su mayor comprensión, se expone, el proceso y las características y propiedades físicas resultado del proceso.

---

53)Lewis, G.K. (1995), "Direct laser metal deposition process fabricates near-net-shape components rapidly", *Materials Technology*, Vol. 10 pp.3-4.

- a) Estereolitografía (SLA); maneja resinas epoxicas y de acrilato, es decir utiliza plásticos con propiedades altas propiedades térmicas y de dureza (termoplásticos), pueden fundirse al calor y ser precipitadamente enfriados con inapreciables cambios químicos, mediante un reciclaje del material estas características ayudan, en varias técnicas de manufactura, como son moldeado por inyección, termo formado y sinterizado, pero en este proceso es viable el uso de resinas líquidas o semilíquidas, los materiales propuestos son acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), así como resinas epoxicas.
- b) Manufactura de objeto laminado (LOM); en este caso se manejan láminas de papel y materiales termoplásticos, las láminas de papel, siendo un material de celulosa, es adherible con acetatos de celulosa, el clásico acetato de polivinilo o fenoles que reaccionan al calor, para adherir el material cuando se trabaja con materiales termoplásticos, las laminas son etilenos o polipropileno, igualmente, alterados físicamente con calor.
- c) Sinterizado de láser selectivo (SLS): el rayo láser selectivamente funde materiales en polvo como nylon, elastómero, poli carbonatos y metales inclusive cerámicos tal como lo presenta la tabla 2.1.

**Tabla 2.1 Materiales metálicos y cerámicos<sup>12</sup> empleados en el proceso de sinterizado de láser selectivo.**

<b>Metales y aleaciones .</b>	<b>Cerámicos .</b>
Aluminio y aleaciones	Silicato de aluminio
Magnesio y aleaciones	Ferrita
Cobre	Oxido de zinc
Latón	Oxido de plomo
Latón níquel	Carburo de silicón
Cobre-níquel	Carburo de boro
níquel	Nitrato de silicón

d) Deposición de modelo fundido (DMF); En este caso se trabaja con materiales que puedan soportar esfuerzos y tensiones durante el proceso, recordemos que es un material que tiene que ser extruido a manera de convertirlo en un filamento, este material puede ser Acrilo-nitrilo-butadieno-estireno (ABS), elastómeros, polifenosulfenos y revestimiento de cera.

### **2.6.1 Clasificación comercial de materiales de PR.**

Una gran cantidad de fabricantes e iniciadores de los procesos dirigidos al desarrollo por prototipo rápido han clasificado los materiales de acuerdo a propiedades y dependiendo al proceso al que se vaya a someter.

---

<sup>12</sup>Cherradi, N. (1997), "Study of the Electrolux DMLS powders", *Internal Research Reports*, Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne.

En la tabla 2.2 se presentan tanto el nombre comercial del material como empresa y costos utilizados en los principales proceso para generación de prototipos rápidos y al final de esta tabla se explica el proceso como el material utilizado de acuerdo al tipo de láser. Al finalizar la tabla se hace describe la función del láser sobre el material dependiendo el proceso.

**Tabla 2.2 Nombre comercial del material**

<b>Vendedor</b>	<b>Nombre comercial</b>	<b>Material</b>	<b>Costo (US\$/dm<sup>3</sup>)</b>
a)Proceso SLA: Resina foto polimerizada con Helio-Cadmio			
Ciba geigy/Cibatool NL	NB 5081-1	Resina epoxica	137
	NB 5134-1	Resina epoxica	138
	NB 5139	Resina epoxica	140
	NB 5143	Resina epoxica	155
	NB 5149	Resina epoxica	175
DSM Desofech/defolite NLR	-805	Resina epoxica	89
	-806	Resina epoxica	89
DuPont/SOMOS	110	Resina epoxica	147
	110	Resina epoxica	152
Allied signal	2201	Resina epoxica	178
locfile	100	Resina epoxica	102
	101	Resina epoxica	168
Asahi Denka Kogyo	BS-660	Resina epoxica	125
	BS-661	Resina epoxica	
	BS-663	Resina epoxica	
	BS-666	Resina epoxica	
b)Proceso SLA: Resina foto polimerizada con Ion Argon			
Ciba geigy/Cibatool SL	NB 5131		125
	NB5154	Resina epoxica	158
Dupont/SOMOS	2100	epoxica	147
	2200	epoxica	152
Asahi Denka kogyo	BS-671	Resina epoxica	125
	BS-672	Resina epoxica	
JFC	NCR-100	Resina epoxica	125

c)Proceso LOM : Lamina adhesiva de calor sensitivo (por rodillo)			
Helisys	Papel		4
	Poliéster		28
d)Proceso de sinterización: Polvos termoplásticos			
BF Goodrich/Laserite	N-4000	Resina epoxica	146
	FC-3000		135
	WX-2010	cera	161
e)Proceso FDM: Filamentos termoplásticos			
Stratasys	Colado de cera		172
	Cera maquinable		
	Plástico 200		255
	Plástico 300		

**a) Proceso SLA:** Resina foto polimerizada con Helio-Cadmio; el medio que denota la forma de polimerizar con láser de gas Helio-Cadmio<sup>59</sup> y bombeados con luz ultravioleta, efectúan una reacción química de tal manera que el proceso de polimerización es efectuado por adición utilizando calor y reacciones posibles en acrilatos y resinas epoxicas además de la aplicación requerida. Las nomenclaturas NB indican resinas con matrices de nitrilos y butadienos, las BS con butadienos y esteros y las que únicamente tienen números son resinas epoxicas con compuestos.

---

59) Manthiram, A., Bourell, D.L., Marcus, H.L. (1993), "Nanophase materials in solid

- b)** Proceso SLA: Resina foto polimerizada con Ion Argón; el proceso utiliza como capa o escudo de gas, empleando materiales con compuestos casi similares al de helio cadmio dando propiedades diferentes que en el proceso mencionado anteriormente.
  
- c)** Proceso LOM: Lámina adhesiva de calor sensitivo (por rodillo); en la tabla se indica de manera directa los materiales.
  
- d)** Proceso de sinterización: Polvos termoplásticos; en este caso se utilizan materiales compuestos que puedan homogenizar en el proceso, como por ejemplo, los nitrilos y la celulosa que adquieren una propiedad de emblandecimiento en el proceso para finalmente adoptar una rigidez.
  
- e)** Proceso FDM: Filamentos termoplásticos; todos los materiales que adopten una propiedad plástica tal como poli estireno, polipropileno, prácticamente de materiales preparados para acción directa son utilizados en el proceso.

---

72)Thoma, D.J., Lewis, G.K., Nemeck, R.B. (1995), "Solidification behavior during directed light fabrication", Beam Processing of Advanced Materials, ASM.

## **2.6.2 Propiedades adicionales a los materiales.**

Las características y propiedades adquiridas en el tratamiento de los materiales para su funcionamiento en cada proceso dependen de las características y propiedades iniciales y además, precisa de aditivos que son soportes del óptimo funcionamiento y desarrollo del producto a obtener, los materiales a trabajar en el desarrollo de la polimerización deben de entrar en tres etapas con las cuales se confirma la polimerización y estas son:

- a) **Iniciación:** usualmente el enclave de simples moléculas iniciadoras por calor, luz o reacciones químicas, como forma reactivas en las sustancias.
- b) **Propagación:** reacciones repetitivas de las sustancias con monómeros para formar cadenas.
- c) **Terminación:** ocurrencia de circunstancia o mecanismo que prepara la propagación.

A continuación se presenta la tabla 2.3 que contiene los materiales clasificados en cada proceso, con cinco columnas: la primera de las columnas muestra el material y la empresa que lo provee, la segunda muestra la viscosidad en poises (en honor al científico francés Poiseuille), la tercera columna muestra la profundidad que maneja el rayo láser o de luz incidente sobre la superficie del material a tratar, la cuarta columna muestra la cantidad de luz expuesta sobre el material y por último la columna que presenta los materiales que mejoran o modifican las propiedades físicas del prototipo dependiendo su aplicación.

**Tabla 2.3 Materiales clasificados por proceso**

<b>Propiedades adicionales a los materiales aditivos al fabricante</b>				
<b>Material Registrado</b>	<b>Viscosidad (<math>\zeta_p</math> @ °C)</b>	<b>Profundidad (mm)</b>	<b>Exposición <math>mJ/cm^2</math></b>	<b>Compuestos</b>
<b>Empresa</b>	<b>(Centipoises* @ °C)</b>			
Proceso SLA: Resina foto polimerizada con helio cadmio				
XB 5081-1	2000±400(30)	0.19	6.6	
Dupont/SOMOS				
XB 5134-1	1700±400(30)	0.17	7.6	Uretano acrilato
Dupont/SOMOS				
XB 5139	820±200(30)			Baja viscosidad para SLA-190
Dupont/SOMOS				
XB 5143	2000±400(30)	0.16	5.1	Acrilatos esteros maquinables
Dupont/SOMOS				
XB 5149	2000±400(35)	0.14	4.3	Intenciones generales
Dupont/SOMOS				
950-805	300±100(30)	0.17	6.72	Tirada invertida
Dupont/SOMOS				
950-806	300±100(30)	0.17	5.8	
Dupont/SOMOS				
2110	3805±285(30)	0.12	3.48	Baja volatilidad postura de cabeza flexible
Dupont/SOMOS				
3110	985±15(30)	0.13	2.47	Baja volatilidad
Dupont/SOMOS				
2201	205(30)	0.18	27	Vinilicos maquinables
Dupont/SOMOS				
8100	2300(25)	0.14	6.52	Acrilato de poliuretano
Dupont/SOMOS				

8101	2000(25)	0.15	4.58	
Dupont/SOMOS				
HS-660	165(25)			Cura de base exposica por polimerización cationica.
Ciba geigy/				
HS-661	180			
Ciba geigy/				
HS-663	315(25)			
Ciba geigy/				
HS-666	440(25)			
Ciba geigy/				
Proceso SLA: Resina foto polimerizada con Ion argòn				
XB 5131	2200±400(30)	0.18	5	
Dupont/SOMOS				
XB 5154	2000±400(30)	0.13	4.2	Intenciones generales
Dupont/SOMOS				
2100	3805±285(30)	0.22	2.9	Baja volatilidad Postura de cabeza flexible
Dupont/SOMOS				
3100	985±15(30)	0.19	4	Baja volatilidad
Dupont/SOMOS				
HS-671	165(25)			Cura de base exposica por polimerización cationica
Ciba geigy/				
HS-672	190			
Ciba geigy/				
SCR-100	400(25)			
Resina foto polimerizada de banda ancha				
Type g	2600(35)			Intenciones generales
Coates/Solimer				
Type f	2600(35)			flexible
Coates/Solimer				
4112-143-1	5100(25)			
Proceso LOM: lamina adhesiva de cabeza sensitiva (rodillo).				
Papel				Espesor de placa63 a

Helisys				500µm(0.0025to0.02in)
poliéster				
Helisys				
Proceso de sinterización: polvos termoplásticos				
LN-4000				Nylon, resistencia química
BF Goodrich/Laserite				
LPC-3000				poli carbonato
BF Goodrich/Laserite				
LWX-2010				Revestimiento colada de cera
BF Goodrich/Laserite				
Filamentos termoplásticos				
Colada de cera			Rojo	Diámetro del filamento1.3 mm
Stratasys				
Cera maquinable			azul	
Stratasys				
Plástico 200			Polifono blanco	
Stratasys				
Plastico300			Poliamida clara	
Stratasys				

En las columnas correspondientes al proceso de estereolitografía SLA, es posible estimar el material con que se esta trabajando, si se tienen las bases en cuanto a teoría de plásticos y resinas, por ejemplo para el caso del material ABS se esta manejando una temperatura de fundición de 235°C con una temperatura de molde de 60°C y mientras que para el policarbonato es de 310°C con una temperatura de molde de 90°C .

En las columnas correspondientes al proceso de sinterizado SLS no se indica la viscosidad, la profundidad y la exposición ya que los fabricantes son los que controlan la fusión termoplástica hay que recordar que

intervienen polvos cerámicos y metálicos cuya fusión debe ser homogénea en dos o más soluciones.

Para el caso del proceso LOM las especificaciones del material únicamente presentan un papel de espesor 0.0042in (0.1066mm) con propiedades termoplástico-adhesivas. Se construye con excelentes características y gran estabilidad mucho más que otros materiales PR.

## **2.7 Automatización<sup>63</sup>.**

El quinto acontecimiento al referido al principio del capítulo para el desarrollo de prototipo rápido es la automatización. La real academia de ciencias exactas y físicas naturales define la automática como el estudio de métodos y procedimientos cuya finalidad es la sustitución del operador humano por un operador artificial en la generación de una tarea física o mental previamente programada.

No se tiene un registro preciso histórico de los sistemas de automatización, estos en las tres últimas décadas se han implementado con sistemas análogos a la dinámica que exigen los programas de trabajo a desarrollar, tenemos que implementar dispositivos mecánicos, eléctricos inclusive hidráulicos con sistemas de control (con temperatura, rapidez de chorro, geometría de las cavidades etc.). En síntesis hasta ahora se ha llegado a formular que cualquier parámetro físico a controlar inclusive supera las expectativas y

---

63) Romera J. Pedro "Automatización" 2ª edición 1996 Edit Paraninfo España.

también de esta manera se quiere llegar en esta parte a concluir que un sistema de control puede ser sustituido por otro y en esta transición se tuvo que llegar a la automatización. En las décadas de los 50's y 60's únicamente se trabajó, con sistemas ya conocidos, revolucionando los esquemas de automatización, como ejemplo General Motors (GM), preocupada por los costos elevados que implicaban los sistemas de control basándose en relevadores electromagnéticos o electromecánicos debido a los tiempos de paradas por averías y a su poca flexibilidad para adaptarse a las necesidades de producción de nuevos modelos, estaba trabajando con la empresa Digital Corporation.

Según R.E Moreley, considerado el padre de los autómatas programables, fue una casualidad que ellos la firma Bedford Associates Inc., Desarrollaran un producto que respondía a las especificaciones anteriores, ya que no había tenido contacto con G.M. que posteriormente sería su primer cliente.

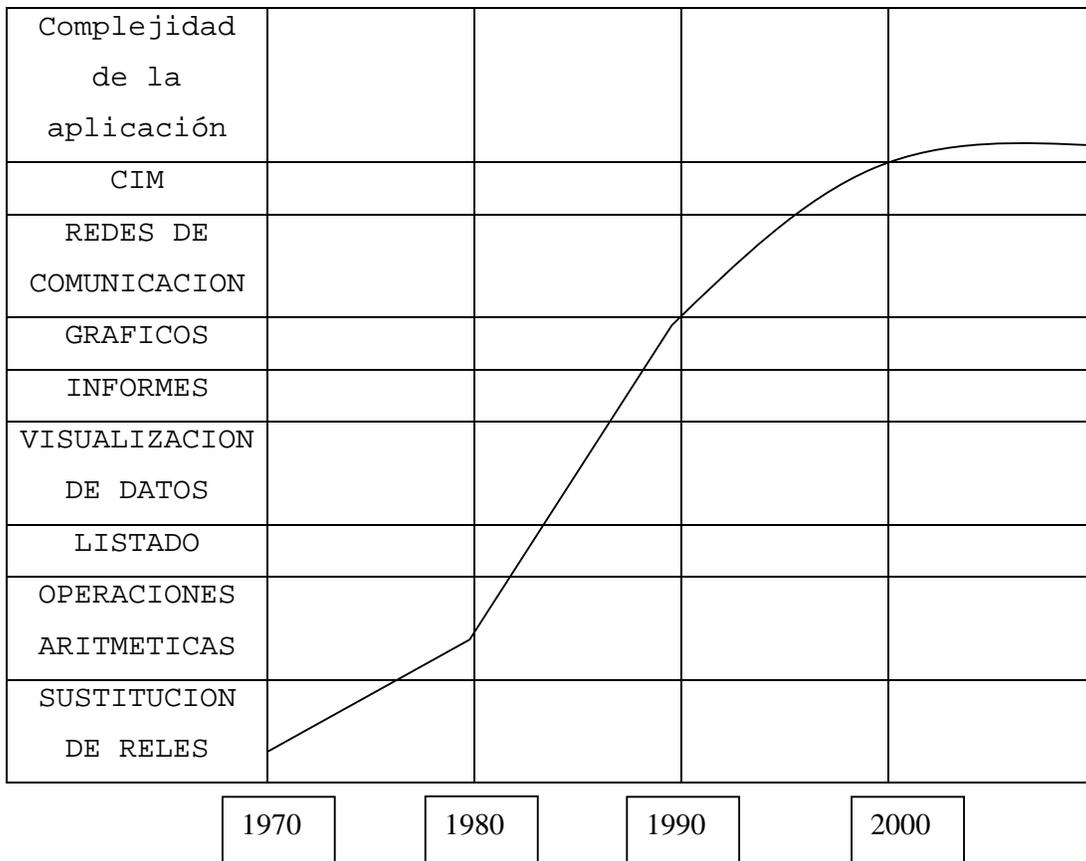
De hecho la colaboración entre G.M. y Digital dio lugar a un equipo denominado PDP-14 (Robot Industrial) que definitivamente resultó un sistema programado (memoria cableada); el programa se desarrollaba en una computadora que proporcionaba el esquema de cableado con que se construía la memoria. El primer robot trabajaba con una memoria de ferritas, por tanto fácilmente reprogramable y superaba las exigencias de G.M; no tardo en extenderse su empleo a otras industrias.

El Robot nació como sustituto de los armarios de relevadores electromecánicos y se mostró particularmente adaptado al control de las cadenas de montaje, es decir, en los procesos secuenciales. Para facilitar su programación y mantenimiento por parte del personal de planta, el lenguaje empleado era el de las ecuaciones de Boole y posteriormente el esquema de contactos. Las características mencionadas se resumen en la siguiente definición:

El Robot programable industrial es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente industrial procesos secuenciales.

No obstante, el concepto de producto que se desprende de la anterior definición ha quedado hoy superado por la evolución del producto, tal como sucede en el prototipo rápido paralela al desarrollo de los microprocesadores, extendiéndose sus aplicaciones al campo del control de procesos que requieren operaciones de vinculación, cálculo, manipulación y transmisión de datos tal como se recoge en siguiente la gráfica (2.1).

**Gráfica 2.1 Evolución de componentes automáticos**



La evolución seguida por el robot programable se puede sintetizar en las etapas que se describen a continuación:

Los primeros equipos aparecen en 1968, emplean memoria de ferritas y un procesador cableado a base de circuitos integrados para construir la Unidad Central, su aplicación se centra en la sustitución de maniobras de relevadores electromagnéticos o electromecánicos que controlan máquinas o procesos típicamente secuenciales (máquinas o líneas de montaje, cadenas de transporte, distribución y almacenamiento de material).

En la década de los 70s se dedicó a la investigación de nuevos sistemas fuera del contexto tradicional usual, donde ya se utilizaron sistemas analógicos, sustituyendo en gran parte, elementos mecánicos por digitales, e interactúan sistemas hidráulicos y mecánicos con electrónicos. Aparte que en esta década se incorporaron tecnologías de microprocesadores lo que permitió aumentar sus posibilidades:

- incorporación de elementos de interconexión hombre-máquina.
- manipulación de datos.
- operaciones aritméticas y comunicación con computador.

Su aplicación aumento las posibilidades de la máquina ya que con la capacidad de tratamiento numérico el Autómata pueden desarrollar acciones correctivas en curso de funcionamiento.

La segunda mitad de la década se caracterizó por una constante mejora de prestaciones y el desarrollo de elementos especializados:

- incremento de la capacidad de memoria.
- posibilidad de entradas / salidas (E/S) remotas.
- E/S analógicas y numéricas, control de posicionamiento.
- mejoras en el lenguaje de programación.
- desarrollo de las comunicaciones con periféricos y computador.

Y para los años 90', donde se concretan los procesos de prototipo rápido, estos sistemas ya alcanzaron su total digitalización hecho que facilitó la creación, más rápida del prototipo en cuestión, de manera categórica en todas las ramas donde se pudiera crear y fabricar se alcanza un nivel de

robotización, donde la supervisión de manufactura puede ser reducida hasta un 25% y en cuanto a la precisión esta alcanza un 100% y un producto tiene la certeza de ser fabricado de manera precisa desde su diseño hasta el termino de su fabricación.

También en estos últimos años han aparecido equipos pequeños y compactos que, junto con la reducción de los precios, ha hecho que la aplicación se extienda a todos los sectores industriales.

Los fabricantes han desarrollado familias de productos que comprenden equipos desde 10 entradas / salidas, hasta grandes controladores capaces de gobernar hasta 10,000E/S y memorias arriba de 128Kb.

El campo de aplicación cubre desde el mínimo nivel de automatización de una secuencia de enclavamiento, hasta el control completo de un proceso de producción continúa

## **CAPÍTULO 3**

---

### **SISTEMAS QUE INTEGRAN LAS MAQUINAS DE PROTOTIPOS RÁPIDOS**

#### **3.1 Introducción**

En este capítulo se identifican los elementos funcionales de una máquina que produce Prototipos Rápidos (PR), estos elementos forman sistemas para el diseño y construcción de prototipos, los cuales se analizan por separado y se presenta la interacción entre ellos.

#### **3.2 Principales Sistemas**

Los procesos de prototipo rápido sustituyen los procesos de fabricación comúnmente utilizados para fabricar moldes o modelos. Actualmente se consideran sistemas de manufactura de tecnología avanzada para efecto de fabricar moldes en prototipo rápido, consideramos dos sistemas de esta tecnología.

- a) Sistema Operativo.
- b) Sistema de Fabricación.

### **3.3 Sistema Operativo.**

Un Sistema Operativo es un conjunto de programas que controla la ejecución de los mismos y actúa como una interfaz entre el usuario y el hardware de una computadora, el sistema operativo explota y administra los recursos del hardware.

#### **3.3.1 Componentes esenciales de prefabricación (diseño).**

El proceso de fabricación que es la fase final depende del diseño mostrado desde la pantalla, diseños o modelos generados utilizando paquetes CAD y representados en 2y3 dimensiones, el diseñador puede utilizar un archivo CAD preexistente o debe crear un prototipo con precisión. Varios paquetes CAD utilizan un número diferentes de algoritmos para representar objetos sólidos y para establecer un formato de transferencia, el STL que es un formato de salida estándar para la mayor parte de los programas CAD y también dicta los parámetros para el desarrollo en CAM, se le llama STL debido a la estereolitografía que fue la primera técnica en PR. Este formato ha sido adoptado a la forma estándar de la industria del prototipo rápido con este formato se hace práctica la representación de superficies tridimensionales como un ensamble de triángulos planos “como las facetas de un corte de diamante “los archivos contienen las coordenadas de los vértices de las normales externas de cada triángulo.

Otros formatos comunes (DXF, 3DS, etc.) que pueden convertirse con facilidad a STL.

Un preprocesó a través de un programa prepara archivos de corte STL, necesarios para la construcción del modelo donde se necesita ajustar dimensiones y localizar coordenadas, parámetros proporcionales con respecto al tiempo y ello por que es aquí donde se planea la construcción de capas o rebanadas con su respectivo espesor que va desde 0.01mm a 0.7mm muchos de estos archivos vienen preparados con características

para el modelo si es que se necesitan, como son soportes, cavidades internas y espesores de pared aunque si el proceso lo requiere las maquinas comerciales ofrecen un software de preproceso y un manual de propietario con sugerencias de construcción para cualquier modelo en prefabricación y planeación .

### **3.4 Sistemas de Fabricación.**

Los procesos en el diseño y desarrollo del producto quedan como un precedente del modelo, incluso como producto final. En él procesó de fabricación se utiliza una máquina, que en el lenguaje del prototipo rápido es una impresora, que realiza los pasos que se gestionaron en el SO, en forma coloquial se dice que la máquina es una impresora, máquina receptora de información que recrea en forma física el modelo transferido desde el CAD. De esta manera queda asentado el vinculo entre un modelo diseñado y uno físico, procesos dentro del concepto CAM.

Una manera de describir el proceso de fabricación en PR es “la liberación de energía controlada en un punto específico o escaneo de láser, es un trazo que da como resultado una diferencial vertical o capa de un modelo propuesto”.

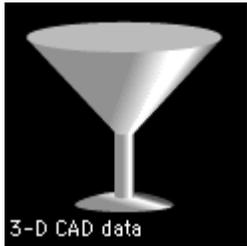
Las directrices y vectores son pensados en el plan y construcción de un modelo de revolución, llevadas a la realidad con el formato propuesto (STL). Una vez que el modelo ha sido obtenido, es removido de su soporte pasando a un proceso de limpiado y acabado de la pieza.

En el caso de la estereolitografía se elimina de exceso de resina de el exterior de el prototipo tan bien como postcurado de el prototipo en un horno ultravioleta (UV) es necesario primeramente dar acabado al prototipo.

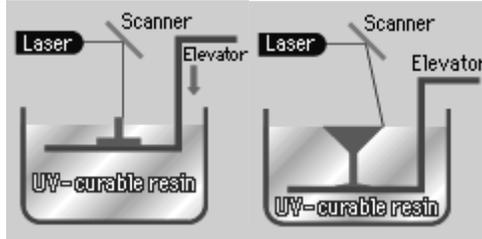
### 3.4.1 Interacción de los Sistemas

Aun cuando la manera de concebir, proyectar y desarrollar un a prototipo rápido se realiza por partes los archivos quedan a disposición, así en la etapa de prediseño, así como en la de postdiseño, para posibles modificaciones del modelo.

La forma con que actúan los sistemas Operativo y de Fabricación se ve reflejada en la planeación y creación del Prototipo Rápido, a continuación se describe en cuatro pasos

<b>1. Crear un modelo CAD del diseño propuesto.</b>
 <p>3-D CAD data</p>
<b>CAD muestra el modelo a conseguir en 3D</b>
<b>2. Convertir el modelo CAD al formato STL.</b>
<b>STL es un formato que indica el proceso de fabricación una vez proyectado el modelo en CAD</b>
<b>3. Utilizar el archivo STL de corte para las capas.</b>
 <p>Contour-line slice data</p>
<b>La segunda figura muestra las líneas de contorno capa por capa</b>

## 4. Construir el modelo capa por capa.



**La recreación de las figuras es llevada a cabo en el sistema de fabricación CAM.  
Escaseando las figuras con el Láser**

### 3.5 Métodos en la fabricación de prototipo rápido.

La Clasificación en cuanto a métodos registra, los procesos con los que se trabaja para conformar un producto, como los siguientes:

- 1) Foto curado.
  - a. Emisión de luz por láser único.
  - b. Emisión de luz en dos haces de láser.
  - c. Radiación o emisión para fundición por lámpara.
- 2) Curado y aglutinado.
  - a. Por haz de luz
- 3) Fundido, aglutinado y fusionado.
  - a. Emisión y radiación por lámpara.
- 4) Adhesión y corte.

La clasificación de los métodos anteriores tiene una función de acuerdo a los materiales, con los cuales se va a trabajar y desarrollar un modelo.

### **3.6 Clasificación de sistemas de Prototipo Rápido <sup>13</sup>.**

De acuerdo a los métodos que se van a manejar en la formación del modelo, se selecciona la máquina, ya sea aglutinado sinterizado, adherido y el más importante foto polimerizado existiendo otra forma de clasificación por categorías de acuerdo al sistema de prototipo rápido, al material y la forma de procesarlo;

- a) Sistema base líquida
- b) Sistema base sólida
- c) Sistema base polvo

---

13) Chua C. K., Leong K. F. and LIM C. S.” Rapid Prototyping” Nan yang Technological University, Singapore.

Sobre la base de los puntos anteriores se puede elaborar la tabla 3.1, en la cual se presenta un cuadro comparativo a los procesos basados en los sistemas mencionados como son sólidos líquidos y polvos

**Tabla 3.1 Sistemas en base al proceso**

<b>Método</b>	<b>Sistema base líquida Empresa (proceso y material)</b>
<p>Para los procesos LOM se utiliza</p> <p>1) Foto curado</p> <p>a) Emisión de luz por láser único</p> <p>b) Mascarilla a base lámpara con dos rayos láser</p>	<p>1) Aparato de estereolitografía 3DSystem(SLA)</p> <p>2) Cubital israelí Solider 5600(SGC) Acrilato</p> <p>3) Mitsubishi CMET Japón SOUP 600 SOUP 850 (SLA) Acrilato y Resina Epoxica</p> <p>4) Teiji Seiki Company, Ltd Japón SOLIFORM 500 SOMOS(SLA) Acrilato</p>
<b>Método</b>	<b>Sistema base sólida Empresa (proceso y material)</b>
<p>Para los procesos LOM se utiliza</p> <p>4) adhesión y corte</p> <p>Para los procesos FDM y MJM se utiliza</p> <p>3) Fundido, Aglutinado y Fusionado</p>	<p>1) Helisys EE.UU. LOM-1015 LOM-2030 Papel Placas de Poli estireno</p> <p>2) Kira Corp Japón KSC-50 LOM Papel</p> <p>3) Stratasys E.U.A FDM-2000 (FDM) cera</p> <p>4) 3D SYSTEMS EE.UU. THERMOJET MJM Termoplásticos</p>

<b>Método</b>	<b>Sistema base polvo Empresa (proceso y material)</b>
El método aquí empleado en todos los sistemas es: 3) Fundido Aglutinado y Fusionado	1) 3D SYSTEMS EE.UU. selective láser Resinas 2) Electro Optical Systems (EOS) Alemania EOSINT 350 Plástico SLS Plástico 3) Z corporation EE.UU. Z402 3DP CO2 y otros materiales compuestos 4) Optomec Laser Engineered Net shaping(LENS)

### 3.6.1 Clasificación de sistemas por tipo de material<sup>26</sup>.

El material antes de ser procesado en la técnica RP puede ser sólido o líquido, en el caso de ser líquido se emplea un proceso que lo transforma a sólido a través de una luz ultravioleta o un rayo láser como es mostrado en la tabla.

Las principales técnicas de prototipo rápido están basadas en la estereolitografía (SLA), sinterizado de láser selectivo (SLS), manufactura de objeto laminado (LOM) y técnicas de deposición fundida (FDT).

La tabla 3.2 muestra la forma en que son clasificados los procesos RP de acuerdo al material utilizado

---

<sup>26</sup>Freeform fabrication", *JOM*, Vol. 45 No.11, pp(1998).66-70.

**Tabla3.2 Muestra la Clasificación de procesos RP**

<b>Material de alimentación</b>	<b>Proceso básico</b>	<b>Nombre de los procesos</b>
sólido	Placas de pegamento adherible y placas de plástico adherible	Manufactura de objeto laminado (LOM) (Helisys, Hidronetics.
	Solidificación derretida	Manufactura de deposición fundida (FDM)(Stratasys.
polvo	1 componente	sinterizado de laser selectivo (SLS)(DTM, Hidronetics,Westinghouse)
		Colada de laser directo(LDC)
	Impresión en 3D	
	1 componente mas 1 rayo	Manufactura de particula de bala
liquido	Polimerización de liquido	Lámparas de longitud de onda única. Estereolitografía (cubital, curada de sólido de base)
		Rayo laser estereolitografía(SLA)(3Dsys,Quadrax,Grapp, DuPont, láser pasajero, Sony/D-Mec,Mitsui E&S.Mitsubishi/ CMET,EOS)
		Holography (quadtec)

### **3.7 Elaboración de modelos de Prototipo Rápido (PR).**

En esta sección se describen los componentes expuestos anteriormente en la aplicación para generar Prototipo Rápido en cada uno de los procesos de la siguiente manera:

- a) Estereolitografía: se puede mencionar que los elementos para formar y conformar el modelo es híbrido ya que contiene un rayo láser helio-neón para solidificar y otro para hacer el corte de capas, este es un sistema de láser llamado LENS, este se usa también para fundir el metal en polvo, en SLS no corresponde este proceso únicamente cortes seccionales de capas y esto cuando el modelo es formado.
- b) Fabricación de objeto laminado (Laminated Object Manufacturing (LOM)): De los conceptos y elementos estudiados anteriormente se deduce que en este método el modelo al ser formado en el proceso de fabricación y con la descripción que antecede, se utiliza como complemento de formación, pegamentos por acción de calor o adhesivos fijos, con el consecutivo corte de capa llevado a cabo por el láser.
- c) Sinterizado de láser selectivo (Selective Laser Sintering (SLS)): En este proceso si se utiliza el sistema LENS, puesto que este si funde y deposita el metal o material en polvo para finalmente conformar el modelo.
- d) Deposición de modelo fundido (Fused Deposition Modeling (FDM)): La herramienta útil en este proceso es conducto o tubo de calor el cual despiden un micro filamento, es decir un hilo muy fino el cual es extruído.

## CAPÍTULO 4

---

### PROCESOS DE PROTOTIPOS RÁPIDOS.

#### 4.1 Introducción.

Este capítulo describe cada uno de los, procesos con las respectivas máquinas con las que trabaja, cada uno de ellos.

#### 4.2 Estereolitografía (SLA).

Charles Hull y Raymond S Freed quienes patentaron en 1986 el proceso, que comenzó una revolución en el prototipo rápido, este sistema de prototipo rápido es base líquido, es construido en un recipiente que contiene resina líquida foto curable, la resina que es orgánica es curada o solidifica bajo los efectos de radiación del láser que es proyectado con una frecuencia y una potencia concretas por tiempo de exposición, usualmente en el rango de longitud de onda de luz UV. El láser cura la resina cerca de la superficie de la sección y su contorno, endureciendo la sección de interés que forma la primera parte o la primera capa de lo que es el modelo. Una vez solidificada esta sección, el elevador baja su posición para situarse a la altura de la siguiente capa. Se repite dicha operación hasta conseguir otra capa y así consecutivamente hasta obtener la pieza final. Posteriormente la resina del recipiente puede ser drenada y la pieza final removida. Hay

variación en la técnica dependiendo del vendedor y también dependiendo el tipo de luz laser, el método de escaneo o exposición, tipo de resina líquida y el tipo de elevación y sistema óptico utilizados.

#### **4.2.1 Proceso de fabricación en Estereolitografía (SLA).**

El proceso de estereolitografía ha sido desarrollado de tal manera que tiene la capacidad de adicionar moléculas sobre moléculas en el momento de elaborar el modelo y a la capacidad de combinar las moléculas es posible ya que existe un proceso de polimerización, siendo este estimulado por luz llamado “foto polimerización” que es en si la base de este proceso de fabricación de prototipos rápidos.

#### **4.2.2 Foto polimerización<sup>7</sup>.**

El proceso de solidificación, de la Estereolitografía es realizado capa por capa como ya se mencionó, esto es que los que líquidos polímeros o resinas se solidifican por el impacto de un haz luminoso conforme se seccione la capa. La pieza es construida sobre una plataforma horizontal sumergida en una resina líquida. La solidificación se produce punto por punto, por foto polimerización se dice entonces que “a un material capaz de reaccionar y reticular de manera simultanea a la solidificación estimulado por radiación se llama foto-polimerizado”. De otra manera a entender el proceso de solidificación en estereolitografía es que cuando el haz de luz esta siendo enviado a la sección seleccionada a escanear, sobre esta sección se realiza una combinación química

---

7) Brumer, Paul y Shapiro, Moshe”Reacciones Químicas Controladas por Laser”.Investigación y Ciencia Barcelona, Científica, mayo,1995.

estimulada por el laser en esta reacción participa un gran numero de moléculas de determinado tipo llamadas monómeros formando una molécula gigante denominada polímero.

#### **4.2.3 La función del láser Estereolitografía (SLA) <sup>37</sup>.**

Los tipos de láser según el medio que emplean suelen denominarse de estado sólido, de gas, de semiconductores o líquidos. Para el caso de Estereolitografía se utiliza el láser de estado sólido. Los medios más comunes en láser de estado sólido son varillas de cristal de rubí o vidrios y cristales con impurezas de neodimio. Los láseres de estado sólido proporcionan las emisiones de mayor energía. Normalmente funcionan por pulsos, generando un destello de luz durante un tiempo breve. Se han logrado pulsos de sólo  $1,2 \times 10^{-14}$  segundos, hasta el ultravioleta (UV) al multiplicar la frecuencia original del láser con cristales de dihidrogenofosfato de potasio, y se han obtenido longitudes de onda aún más cortas, correspondientes a rayos X, enfocando el haz de un láser sobre blancos de itrio.

La reacción que tiene un plástico, ante la radiación de un láser primero fue aprobada con láser de helio-neon (He-Ne), (Bióxido de Carbono) CO<sub>2</sub> y argon (Ar), la luz UV, o Ultravioleta se emplea en las llamadas lámparas que en realidad son dispositivos con cavidades ópticas que se emplean para controlar la propagación y dirección del haz de luz, y en realidad esta cavidad es un espacio entre dos superficies reflectoras (espejos o algo semejante), los equipos de Mitsubishi CMET específicamente los SOUP serie 600 utilizan un láser tipo sólido.

---

37)Hoadley, A., Drezet, J.-M. (1991), "Modélisation thermique de la refusion et du traitement de surface par laser, Lasers de puissance et traitement des matériaux", *Ecole de Printemps*, Sireuil, France.

La tabla 4.1 presenta a continuación los elementos de radiación y equipo requerido para el proceso en cuestión (SLA), de acuerdo a las recomendaciones y sugerencias de los fabricantes de polímeros.

**Tabla 4.1 Tipos de radiaciones sobre polímeros para el proceso (SLA) <sup>26</sup>.**

Fabricantes de polímeros				
Fabricante	Nombre de equipo	Fuente (lámpara UV) o Láser		Capas
3D Systems	SLA-190(Estereolitografía)	Láser UV	HeCd	Plataforma Descendiendo
	SLA-250(Estereolitografía)			
	SLA-500(Estereolitografía)		Ion Argon	
CMET	SOUP,A line(Estereolitografía)		HeCd	
	SOUP,H line(Estereolitografía)			
Sony	SCS-1000 HD(Estereolitografía)		Ion Argon	
	JSC-2000(Estereolitografía)			
	JCS-3000(Estereolitografía)			
EOS	Stereos family(Estereolitografía)			
Teijin Seiki	Soliform fam. (Estereolitografía)			
Mitsui	COLAMM(Estereolitografía)		HeCd	Suspensión Ascendiendo
Quadrax	Mark 1000	Láser visible	Ion Argon	Superficie Ascendiendo
Cubital	Solider 5600(Solid Ground Curing-Curada de Base Solida)		Alto Poder Ionográfica sobre plato de vidrio	Resina Incurada Desplazada Con Cera
Light Sculpting	LSI-0609 MA	Lámpara Mascara UV.	Bajo Poder Láser Impreso Sobre Placas De plástico	Plataforma descendiendo

26)Freeform fabrication", JOM, Vol. 45 No.11, pp(1998).66-70.

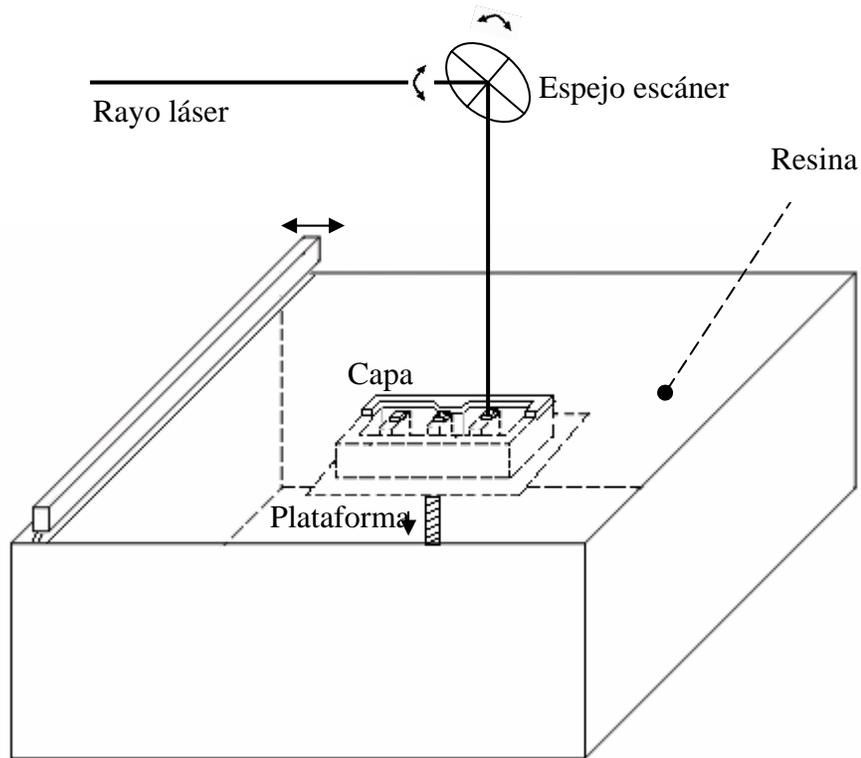
#### **4.2.4 Detalle de fabricación Estereolitografía (SLA).**

Tomando en cuenta los elementos que auxilian dicha fabricación. El modelo es construido arriba de una plataforma situada debajo de la superficie del contenedor, donde esta la resina depositada, el material expuesto a un láser de bajo poder de intensidad, traza la primera capa, solidificándola, cruzando la sección, mientras deja exceso de áreas líquidas, un elevador incrementa a una altura mínima la plataforma todavía en el polímero líquido, una barra móvil que corre en un solo eje ya sea X o Y, barre recubriendo la capa recién solidificada con el líquido, y el láser traza la segunda capa arriba de la primera. Este proceso es repetido hasta que esta completo el prototipo Como consecuencia, 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 auto soportados por la resina líquida no solidificada.

#### **4.2.5 Esquema en detalle.**

En el esquema presentado abajo (Fig. 4.1), se encuentran las partes principales que contribuyen a la fabricación de un prototipo rápido en el proceso de estereolitografía, como se muestra un rayo láser incide sobre un espejo encargado de escanear, es decir el sistema toma una imagen del diseño para imprimirla dando como resultado un modelo físico , inicialmente se dirige un haz de luz hacia el plato base de la plataforma, el rayo solidifica y corta una porción de resina que se encuentra en el contenedor, mientras que la plataforma tiene un deslizamiento hacia abajo permitiendo la siguiente solidificación,

creando la siguiente capa conforme, se fabrican las capas, una barra se encarga de limpiar un excedente de resina sobre la ultima superficie dando lugar a la creación de la siguiente, capa.



**Figura 4.1 Operación Principal de la Estereolitografía**

En la figura. 4.2 se muestra una máquina comercial distribuida por Z-corp



**Figura 4.2 Impresora Tridimensional Z510**

La impresora SPECTRUM Z510 es un sistema de Impresión Tridimensional de Alta Definición que realiza prototipos a todo color y de gran calidad, de manera rápida y a un bajo costo. Este sistema posee la más avanzada tecnología de inyección, que permite elaborar piezas con un alto nivel de detalle, mayor definición y colores exactos, por lo cual, puede imprimir y generar modelos físicos de diseños conceptuales a un nivel muy cercano al de la pieza final. La Impresión Tridimensional de Alta Definición garantiza que ya no tendrá que esperar más para poder evaluar correctamente los prototipos, permitiendo acelerar el proceso de diseño y llevar los productos al mercado mucho antes que la competencia.

#### **4.2.6 Ventajas de la Estereolitografía (SLA).**

- a) Superficie afinada y precisa
- b) Buena rapidez de llenado (colado)

- c) Completamente automática
- d) Ambas superficies externas e internas pueden ser modeladas
- e) Múltiples partes pueden ser coladas al mismo tiempo dependiendo de la dimensión y espacio de la plataforma.

#### **4.2.7 Desventajas de la Estereolitografía (SLA).**

- a) El encogimiento y distorsión puede guiar a la Separación y fractura
- b) El acabado superficial depende del corte y espesor del material
- c) La operación del acabado debe de efectuarse en la misma maquina si no de otra manera resulta tediosa y aun así se pierde la textura inicial después de la fabricación del modelo.
- d) Las piezas de secciones muy grandes presentan dificultades de producción.
- e) Si el acabado superficial y la tolerancia son importantes deberán ser considerados desde el diseño del prototipo.
- f) El polímero utilizado debe presentar un alto coeficiente de expansión térmica, de no ser así se corren riesgos de fractura.
- g) Las estructuras de soportes deben de ser diseñadas desde CAD
- h) El equipo solamente permite tolerancias con  $\pm 0.2\text{mm}$

#### **4.3 Manufactura de Objeto Laminado LOM<sup>82</sup>.**

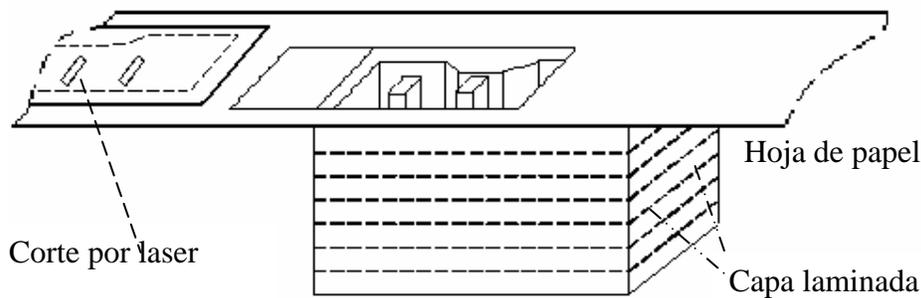
Como en la mayoría de las ocasiones quien se encarga del desarrollo de los procesos industriales es un líder y para tal caso el inventor Michael Feying es quien se encarga de desarrollar el sistema LOM en 1985 y más tarde junto con la compañía Cubic Technologies en el año 2000 hacen las modificaciones pertinentes y la comercialización

fue propuesto por Helysys Inc. El componente para el desarrollo de prototipos en esta técnica es el sistema de base sólido es decir el proceso es diferente al de la estereolitografía y al del sinterizado, en el proceso de manufactura de objeto laminado se utilizan placas o láminas de donde se extraen las capas que van a formar el prototipo. Los modelos en este proceso se adhieren con técnicas a base de engomado y calor, se utiliza como herramienta de corte sobre la placa un láser sólido CO<sub>2</sub>. En la práctica y desarrollo de modelos en prototipo rápido cualquiera que sea el tipo de material y técnica, siempre se tiene como base la planeación y diseño a cargo del CAD. El material en este proceso es debidamente tratado para la fabricación del modelo, el material es placa cubierta de adhesivo y pegada entre sí para formar el modelo, el material en un principio consistió de laminas de papel ,posteriormente y gracias a las técnicas de adhesión se emplean placas de plástico, metal y aun cerámicas, ,pero debido al auge permanente de celulosas y polietilenos es aprovechable el papel, además a este papel se le han proporcionado características de resistencia a la temperatura y buena rigidez, en base a materiales adicionales que se puede adherir capa por capa, que hacen que el modelo pueda trabajar en un medio ambiente adverso. El costo de este material hace que el prototipo sea barato. Hoy en día en este proceso se recurre a materiales poseedores de fibras, responsables de las propiedades mecánicas que sirven para resistir la tracción y las deformaciones.

---

82)Wohlers T.(1995c) "The world of Rapid Prototyping" Proceedings of the fourth international conf desktop manufacturing,

El proceso inicia poniendo una bobina de papel en un alimentador y el colector es otra bobina que recibe el papel ya cortado, en el espacio que queda entre el colector y alimentador, hay una plataforma donde ha sido construida una base de papel y cinta de hilo, el proceso en cuanto, al mecanismo de plataforma, es similar al de estereolitografía, a continuación se presenta en la figura 4.3. como se lleva a cabo el corte en el proceso LOM



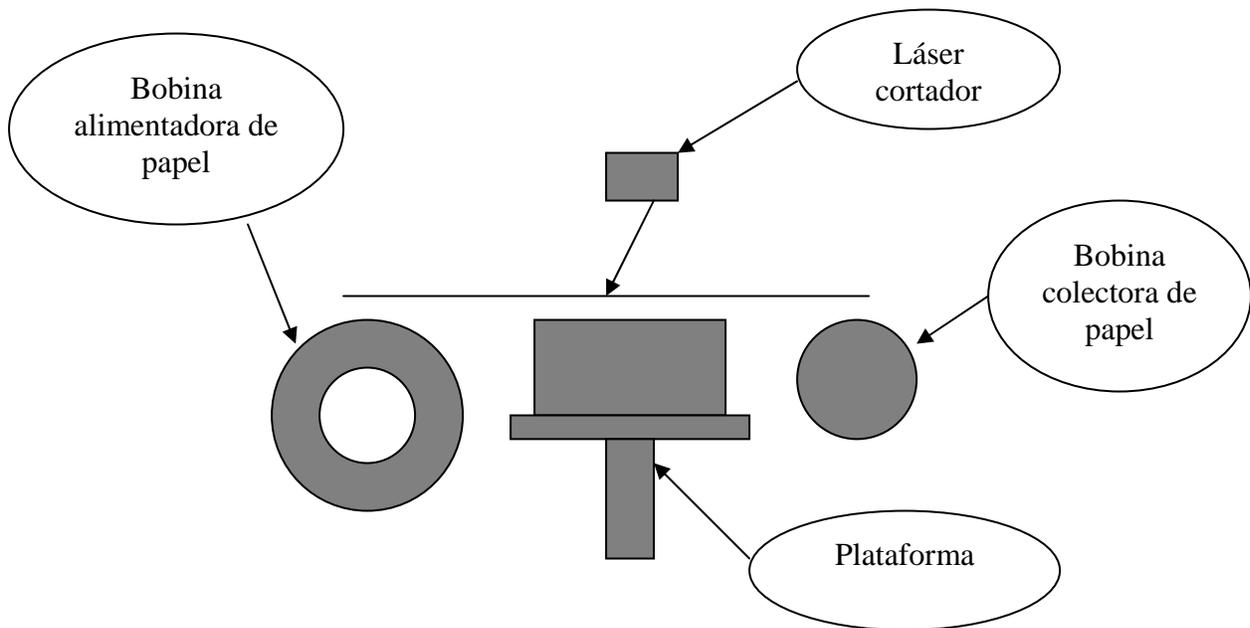
**Figura 4.3 Manufactura de Capa Laminada**

Y bien una vez, que sobre el papel hay un primer corte, sucedido con el láser, hay un rodillo de calor que tiene dos funciones una que el calor adhiere al papel y la otra que empuja o hace una presión para asegurar la adherencia capa por capa.

Tanto el rodillo colector como el alimentador hacen avanzar el papel antecediendo al corte un espacio nuevo para otro corte y nuevamente entra la acción del rodillo y así consecutivamente.

En la figura 4.4 se presenta un esquema a priori de elementos del proceso de manufactura de objeto laminado.

Esquema de partes en el proceso.



**Figura 4.4 Esquema de Capa Laminada**

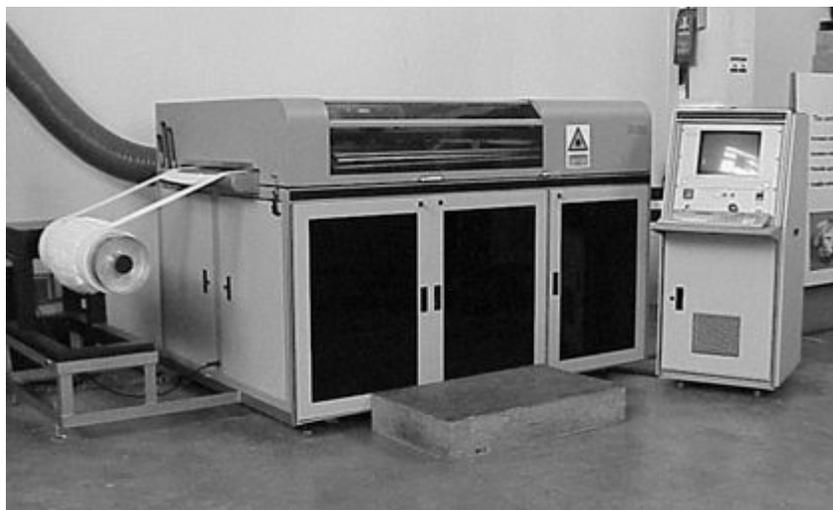
El proceso de manufactura de objeto laminado se puede sintetizar en cuatro pasos:

- 1) Corte de papel: Como se observa en el esquema, la bobina de papel que alimenta el proceso junto con la bobina colectora hacen deslizar el papel sobre la plataforma y el láser junto con un control óptico el cual fija las posiciones en las coordenadas XY se encargan de hacer los cortes a requerimiento del modelo.
- 2) Adherencia por rodillo: una vez que se hace el segundo corte un rodillo controlado por calor y debidamente calculado para hacer presión sobre la

plataforma se encarga de adherir el papel y así lo hará con los  $n$  cortes consecutivos

- 3) Recorrido de papel entre rodillos (para un nuevo corte): conforme se van haciendo los cortes de papel este se desliza sobre la plataforma, con el giro de la bobina colectora, el papel toma el recorrido y la bobina alimentadora gira en dirección de la colectora.
- 4) Plataforma en nuevo descenso: los cortes capa por capa indicaran el descenso de la plataforma con el fin de dejar espacio en la posición Z de acuerdo al espesor de las capas y así formar el modelo.
- 5) Es importante observar que, como el modelo es de papel, hay que cubrir, con lacas o barnices, para prevenirlo de humedad.

La máquina Helisys LOM 2030 E, mostrada en la figura 4.5 construye modelos adicionando capa por capa de láminas o placas de papel pegándolas con ayuda del calor, las capas son previamente cortadas con láser y las características de maquina se muestran en la tabla 4.2.



**Figura 4.5 Máquina Helisys 2001**

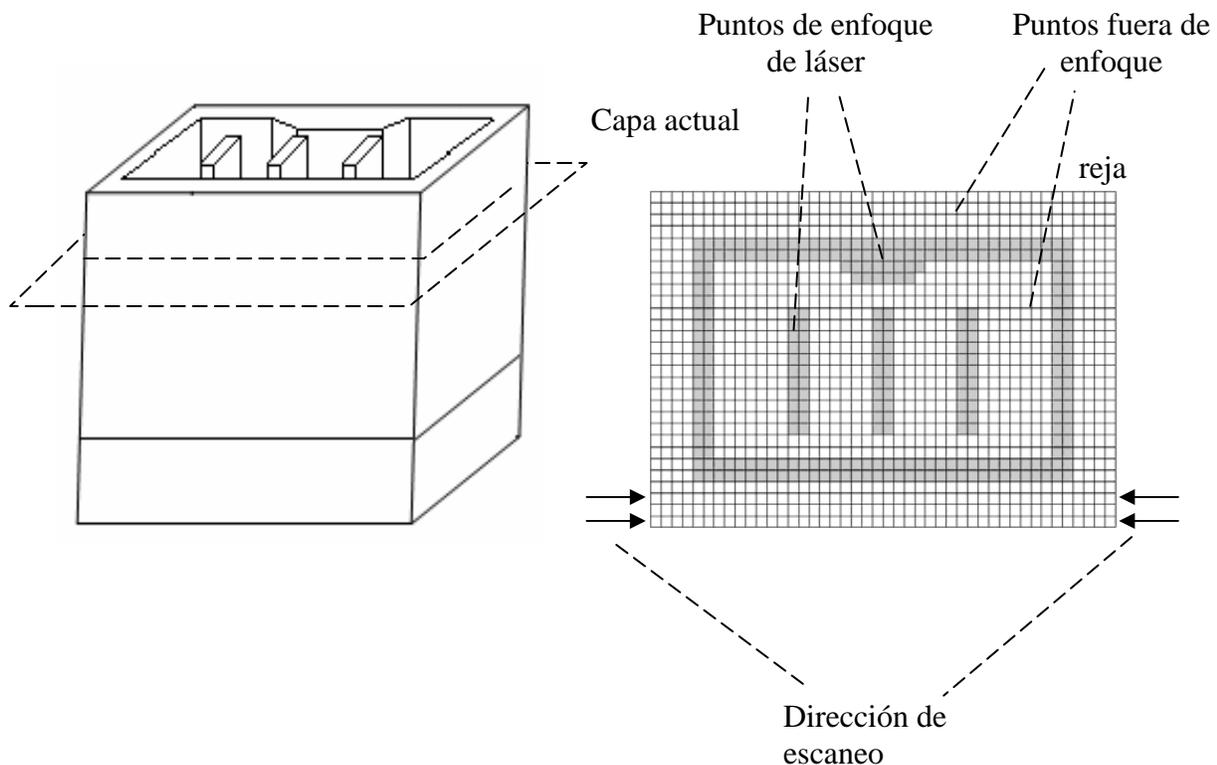
**Tabla 4.2 máquina Helisys LOM 2030 E**

Laser:	50 W CO <sub>2</sub>
Dimensión de construcción :	32 in L x 22 in W x 20 in D (813 mm L x 559 mm W x 508 mm D)
Materiales utilizado:	Papel Adhesivo
Espesor de capa:	0.1 mm

Helisys ha proporcionado, últimamente como material plásticos o papeles repelentes al agua y cintas hechas de polvos cerámicos y metal, para el equipo Helisys 2001.

### 4.3.1 Técnicas de corte.

Como se observa en el esquema de la figura 4.6 presentada abajo, la dirección de escaneo de láser esta dirigida desde el CAD con técnicas de construcción establecidas por el formato STL que se ha valido de conceptos tales como la transformación geométrica de coordenadas y esta se hace factible en un enrejado el cual se trabaja desde la planeación.



**Figura 4.6 Esquema de Capa Laminada**

Este enrejado es necesario puesto que se crea el remplazó de un lugar de mapa geométrico por un espacio vectorial, concepto físico considerado desde el CAD, para aplicación en el proceso de la elaboración del prototipo fijando posiciones de longitud y área.

#### **4.3.2 Ventajas de la Manufactura de Objeto Laminado (LOM).**

- a) El material es más barato que en otros procesos
- b) Estructura de soporte no requerida
- c) La estructura del compuesto puede ser hecho de diferentes materiales
- d) Equipo de bajo costo
- e) Proceso completamente automático
- f) Alta precisión  $\pm 0.1\text{mm}$

#### **4.3.3 Desventajas de la Manufactura de Objeto Laminado (LOM).**

- a) La remoción de partes puede ser de delicada importancia
- b) Las caras de las superficies deben ser debidamente cerradas ya que la superficie final no es hecha como única pieza
- c) El esfuerzo en ciertas partes es un tanto limitado y crea puntos críticos de inflexión en algunos modelos
- d) El papel puede absorber humedad y distorsionaría como delimitaría el modelo
- e) La relación de construcción debido a que son capas demasiado delgadas, es lenta
- f) En modelos que despuntan o tienen componentes parecidos a las aletas el esfuerzo estructural es demasiado pobre

#### 4.4 Sinterizado de Láser Selectivo (SLS) <sup>29</sup>.

Desarrollado por Carl Deckard para su tesis de maestría en la Universidad de Texas el sinterizado de láser selectivo fue patentado en 1989, esta técnica utiliza la emisión de un láser para que selectivamente funda materiales en polvo, desde un nylon, elastómeros, y metales, hasta objetos sólidos.

Nuevamente se menciona la utilización de una plataforma que ascenderá, consecutivamente capa por capa, el modelo es trazado por un láser una vez que se ha emitido calor fundente sobre el polvo, un rodillo adhiere el polvo, nuevamente al igual que en el proceso anterior se anotan los pasos.

- 1) El polvo se deposita en la plataforma.
- 2) Es expuesto el polvo a una emisión de calor fundente.
- 3) Un rodillo se encarga de adherir el polvo.
- 4) El polvo ya adherido es preformado por un láser.

Y así consecutivamente.

---

<sup>29</sup>Geiger, G.H., Poirier, D.R. (1973), *Transport Phenomena in Metallurgy*, Addison-Wesley.

#### **4.4.1 Materiales en polvo utilizados en el proceso.**

Poliamidas: este material que en el proceso comercial se conoce como “DuraForm<sup>MR</sup>”, se le incorpora vidrio para que el modelo sea resistente al calor y a los químicos.

Elastómeros termoplásticos: este material es como la goma y tiene el nombre comercial de “SOMOS<sup>MR</sup> 2001”.

Policarbonato: El PC es un termoplástico lineal amorfo, muy ligero y transparente que presenta la propiedad de auto extinción, requiere de 10 a 20 watts de energía láser para trabajar.

El PC presenta alta resistencia, rigidez, dureza y tenacidad en un rango de -150 y 135 °C, no reforzado. Y entre -150 y 145 °C para material reforzado. Es el mejor sustituto del vidrio, pues además al romperse no tiende a formar astillas.

La resistencia química, es regularmente buena, ya que el PC es atacado por benceno, toluol, hidrocarburos clorados, ácidos, etc.

Somos Waterclear TM10110, es un material imitación al policarbonato, la diferencia radica en que, al ser utilizado en estereolitografía tiene base resina.

Metal: este material en este proceso cubre usualmente al polímero acero infiltrado con bronce y conocido comercialmente como “Láser Form ST-100”.

Cerámicos: circón y sílice unidos con fenol conocidos comercialmente por “Sand Form.

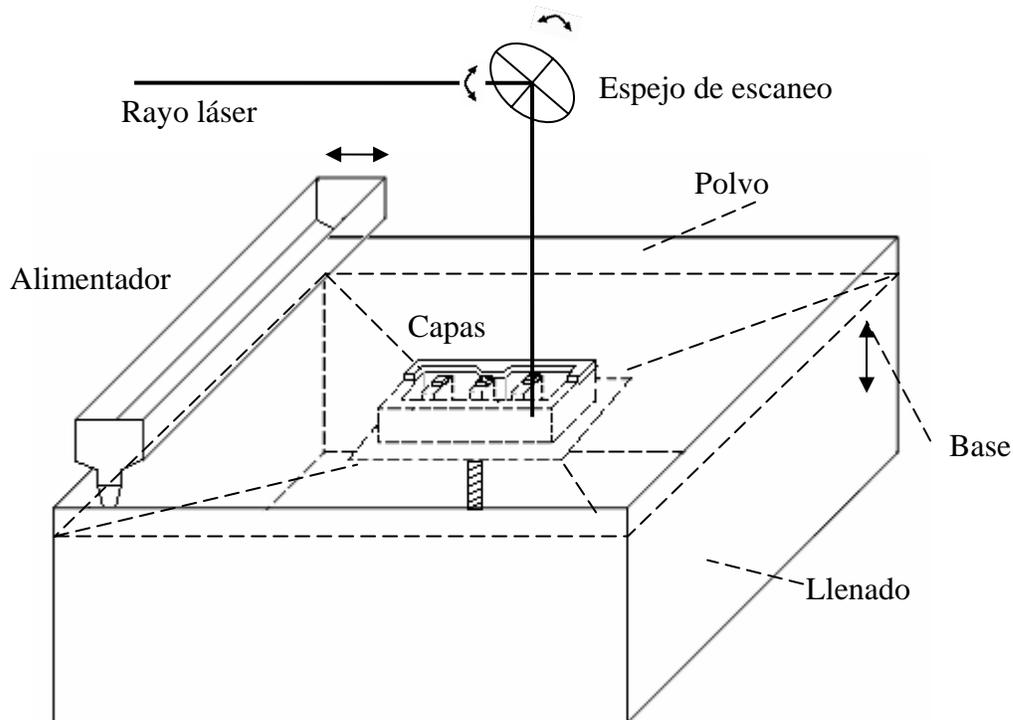
#### **4.4.2 Detalle de fabricación Sinterizado de Láser Selectivo (SLS).**

- 1) Una capa delgada de polvo fundido es depositada sobre una mesa de construcción.
- 2) Las rebanadas o secciones cortadas presentadas a través de los archivos del CAD son precisamente escaneadas proceso aprovechado por el CAM, pero en el segundo caso la capa sobre la fabricación del molde o modelo es generada con un

láser CO<sub>2</sub>, la interacción del láser con el polvo eleva la temperatura hasta el punto de fusión, el polvo con las partículas forma una masa sólida. La intensidad del láser es modulada para fundir el polvo solo en áreas definidas.

- 3) Cuando la sección es cruzada completamente una capa adicional de polvo es depositada por un mecanismo de rodillos, sobre una capa previamente escaneada.
- 4) los pasos 2 y 3 son repetidos para cada capa fundida y así sucesivamente.

En la figura 4.7 se presenta un esquema del sistema descrito anteriormente.



**Figura 4.7 Operación Principal del sinterizado**

En el caso del sinterizado de láser selectivo, cada capa preparada es depositada por un alimentador de polvo, que cubre la superficie de la pieza a trabajar con una capa adicional de espesor uniforme de polvo para que el láser lo procese en forma sucesiva.

#### 4.4.3 La Función de láser de Sinterizado de Láser Selectivo (SLS).

El láser empleado en el proceso puede ser de CO<sub>2</sub> o Nd (neodimio), para el caso del proceso de láser sinterizado con polvo, se requiere un láser de varios cientos de Watts.

La máquina presentada en la figura 4.8 ejemplo del proceso SLS maneja el material de patente llamado duraform flex plástico flexible.



Corresponde a una máquina Vanguard Si2 alta velocidad 3D Systems

con

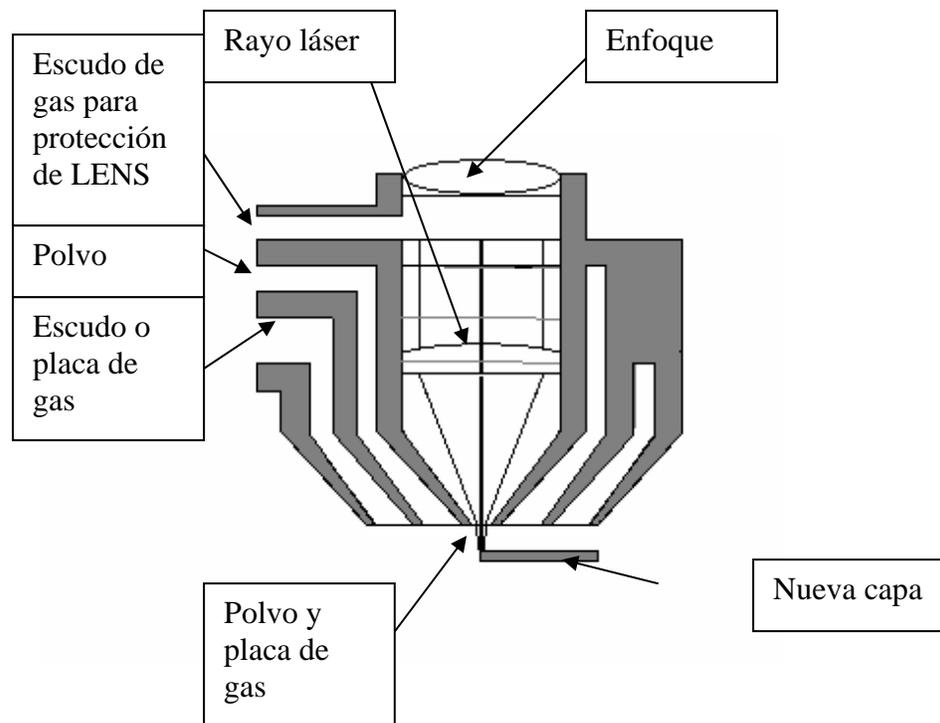
Dimensión máxima de construcción:  
ancho 370 x fondo 320 x altura 445 mm  
(14.5" x 12.5" x 17.5")

**Figura 4.8 Máquina Vanguard Si2  
(Características descritas a la derecha)**

El calor generado por el láser durante el sinterizado de polvo realiza la oxidación del material base, debido a lo cual se requiere eventualmente de una atmósfera de gas inerte que garantice la protección durante el proceso de sinterizado.

Para realizar el proceso se requiere de una mesa vertical movable, el alimentador de polvo y la administración de gas inerte esta integrada en la boquilla coaxial, que a su vez dirige el rayo láser enfocándolo a un objetivo, o pieza de trabajo.

A continuación se presenta la figura 4.9 de la boquilla láser



**Figura 4.9 Componentes de una Boquilla Láser**

Para simplificar el trazo de la boquilla, el polvo puede también ser soplado por un tubo separado que dirige un flujo de material pulverizado en dirección del rayo láser.

Este tipo de procesos tiene la ventaja de trabajar con 5 ejes, que pueden ser usados para generar el prototipo rápido.

#### **4.4.4 Ventajas de Sinterizado de Láser Selectivo (SLS).**

- a) Buena estabilidad: las partes son creadas dentro de un ambiente preciso de control. Los procesos y materiales se proveen precisamente para construir una pieza.
- b) Amplio rango de materiales procesados: un amplio rango de materiales incluyendo nylon, policarbonatos, metales y cerámico está disponibles así para proveer flexibilidad y un amplio alcance de aplicaciones funcionales.
- c) partes no requeridas: el sistema no requiere a detalle estructuras ni siquiera en CAD puesto que las capas sinterizadas y en su total modelo hacen imprescindible cualquier construcción haciendo sólida la misma recordemos todo tipo de construcción fundida que no requiere ninguna estructura a priori.
- d) Pequeñas partes postprocesadas: basándonos en el punto anterior. El acabado de la pieza es razonablemente terminado y requiere un mínimo post proceso debido al fino grano que requiere trabajar el proceso.
- e) Postcurado no requerido: como se explico al principio de los procesos este en particular respeta un amplio margen de métodos es decir como es un proceso basado en polvo en un a parte mínima casi nula utiliza resinas entonces el postcurado no se requiere.
- f) Soporte de software avanzado: la nueva versión 2.0software utiliza un Windows NT- estilográfico que utiliza una interfase. Aparte de las características básicas que permiten delinear piezas a escala. y también piezas no lineales a escala en progreso, cambio de piezas, archivos de construcciones útiles y disponibles en idiomas diferentes al español.

#### **4.4.5 Desventajas de Sinterizado de Láser Selectivo (SLS).**

- a) Unidades de dimensiones físicas grandes: el sistema requiere una cámara grande para construcción de modelos. Muchas veces la boquilla de gas esta imposibilitada para ejecutar el proceso en dimensiones amplias, entonces el modelo hay que hacerlo en partes
- b) Alto nivel de energía consumida: el sistema requiere alto consumo de energía debido a que el alto nivel de wattage de láser requiere sinterizar las partículas de polvo juntas.
- c) Acabado superficial bastante pobre: no siempre los modelos quedan a disposición de un buen acabado debido a que si en una aplicación el modelo es grande y el grano no cumple con las características la aplicación no se lleva a efecto.

#### **4.5 Deposición de Modelo Fundido FDM<sup>65</sup>.**

Stratasys Inc, fue Fundada en 1989 y ha desarrollado productos basados en la tecnología de Deposición de Modelo Fundido la tecnología fue primero desarrollada por Scout Cramp en 1988 y la patente fue premiada en 1992. La técnica utiliza el proceso de extrucción para construir modelos en 3D.

---

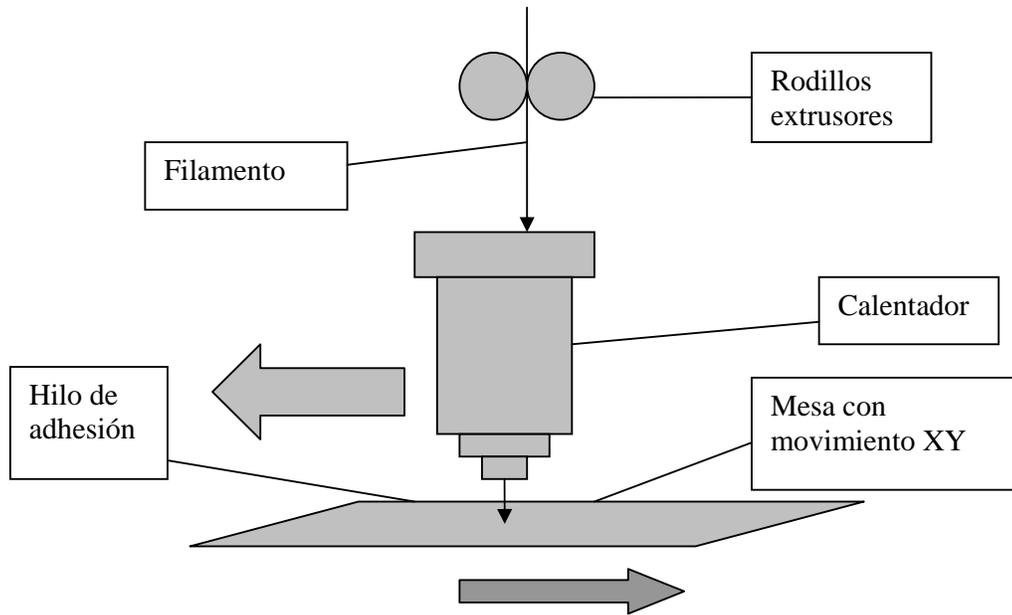
65) Schuhmacher, B. (1996), "Rapid prototyping-technologien: merkmale anwendungen, erwartungen", Workshop zu den Verfahren des "Rapid Prototyping", Olten, Switzerland.

#### **4.5.1 Proceso Deposición de Modelo Fundido FDM**

En esta técnica se depositan filamentos, extruidos de termoplástico calentado, tal parecería que se utiliza un método sin novedad, puesto que el proceso se utiliza industrialmente de manera masiva en plásticos, metales principalmente, aluminio, etc. Sin embargo la cabeza fundente es la que se mueve sobre una superficie, y un plano con movimiento en X-Y, muy parecido a un proceso de decoración manual sobre un pastel, la cabeza de extrucción controlada, deposita cada emisión de material (convertido en micro filamentos), sobre una plataforma, que es mantenida a una baja temperatura, así que el termoplástico a estas condiciones físicas y otras químicas, con las cuales debe, el material rápidamente, endurecerse, aquí en este caso la plataforma baja, para, que la cabeza de extrusión deposite una segunda capa, arriba de la primera, y así consecutivamente, hasta construir el prototipo. Este proceso utiliza también elastómeros, poli carbonatos, polifenosulfenos, y colado de cera.

La primera idea que puso aprueba S.Scott Crump fue en el concepto de extrusión de hacer pasar material a través de un tubo con una particular dirección guiada automáticamente, el paso de Prefabricación en formación de corte bidimensional es decir la observación en pantalla no necesariamente se ejecutaba en 3D.

En la figura 4.10 un esquema de deposición de modelo fundido. Esquema FDM.



**Figura 4.10 Componentes de una Máquina de Extrusión controlada**

La tabla 4.3 abajo presentada, muestra las características de una máquina similares a la figura 4.4 abajo.

**Tabla 4.3 Muestra datos específicos del equipo FDM**

proceso	Extrusión guiada o controlada por robot	
Maquina	3Dmodeler™	
vendedor	Stratasys™ Inc: Eden Prarie, Minnesota, USA. Europa: Tecnimold SRL: Génova, Italia. Oriente: Marubeni Hytechcorp:Tokio,japon	
materiales	Ultimas novedades: cualquier sólido excepto termostatos. Corrientemente: nylon como plástico, cubrimiento maquinado y colado por cera.	
Precisión	±0.1mm(0.005in)	
Tipo de maquina	30x30x30cm (12x12x12in), 11kg (25lb).	
Dimensiones de maquina	0.8x0.9x1.8m(2.5x3.0x6.0ft), 340kg (750lb)	
Servicio de maquina	electricidad	110VAC, 60Hz, 10A
Precio USA (1993)	\$172,000 instalación incluida, estación iris indigo \$24,000	
comentarios	Espesor de gota: 25µm a0.8mm (0.001ª0.03in). Ancho de gota: 0.2ª6mm (0.009ª0.25in).	



**Figura 4.4 3Dmodeler Stratasys**

#### **4.5.2 Ventajas de Deposición de Modelo Fundido.**

- a) Fabricación de piezas funcionales: El proceso DMF es capaz de fabricar prototipos con material que puede ser ABS, también las piezas se fabrican con un esfuerzo mecánico del 85%.
- b) Mínimo desperdicio: El DMF es un proceso que construye piezas con material extruido semilíquido y fundido depositando capa por capa en micro filamentos es por eso que no se desperdicia el material.
- c) Fácil remoción de soportes: En el proceso se construye un sistema de soportes que facilita la remoción de soportes y por ende el de la pieza removida, al final de su fabricación .sin hacer necesario el postproceso que si suele suceder en los sistemas de Sinterizado de Laser Selectivo y Manufactura Objeto Laminado
- d) Fácil cambio de material: el proceso permite cambios de material debido a que en el momento de estar produciendo la pieza el material esta corriendo lentamente en un carrete o bobina.

#### **4.5.3 Desventajas de Deposición de Modelo Fundido.**

- a) Precisión restringida: las piezas a construir en este proceso tienden a tener limitaciones de proporcionalidad debido a que el diámetro del filamento es de 1.27 mm.
- b) Proceso lento: No es posible habilitar un máquina de proceso DMF con rapidez de construcción debido a que el proceso siendo de extrusión necesita llenar el modelo con material requerido con

densidad y viscosidad adecuadas considerando la adhesión necesaria que da el proceso.

- c) Contracción impredecible: Los procesos por transferencia o calor directo no permiten que la pieza conserve sus dimensiones, sobre todo tratándose de plásticos extruidos. Una cosa mas que en el proceso existe un enfriamiento invariable por el cual el modelo pudiera tener una distorsión

## CAPÍTULO 5

---

### MÉTODOS, PROCESOS Y APLICACIONES RELACIONADOS CON PROTOTIPOS RAPIDOS

#### 5.1 Introducción

El prototipo rápido no es un producto final, interactúa con otros procesos de manufactura para ser producido en serie. El objetivo de este capítulo es dar a conocer estos procesos de manufactura.

#### 5.2 Procesos de manufactura<sup>46</sup>.

Los procesos de manufactura tienen una categoría esto de acuerdo a la forma de manufactura y están divididos en procesos Formativo, Sustractivos y Aditivos.

- a) El proceso formativo incluye: estampado (suajado), forjado, colado. Estos métodos entre otros son ejecutados por compresión y de aquí podemos deducir que el material sometido solo cambia de forma.

---

<sup>46</sup>Killander, L.A. (1995), "Future direct manufacturing of metal parts, with free form fabrication", *Annals of the CIRP*, Vol. 44 No.1, pp.451-4.

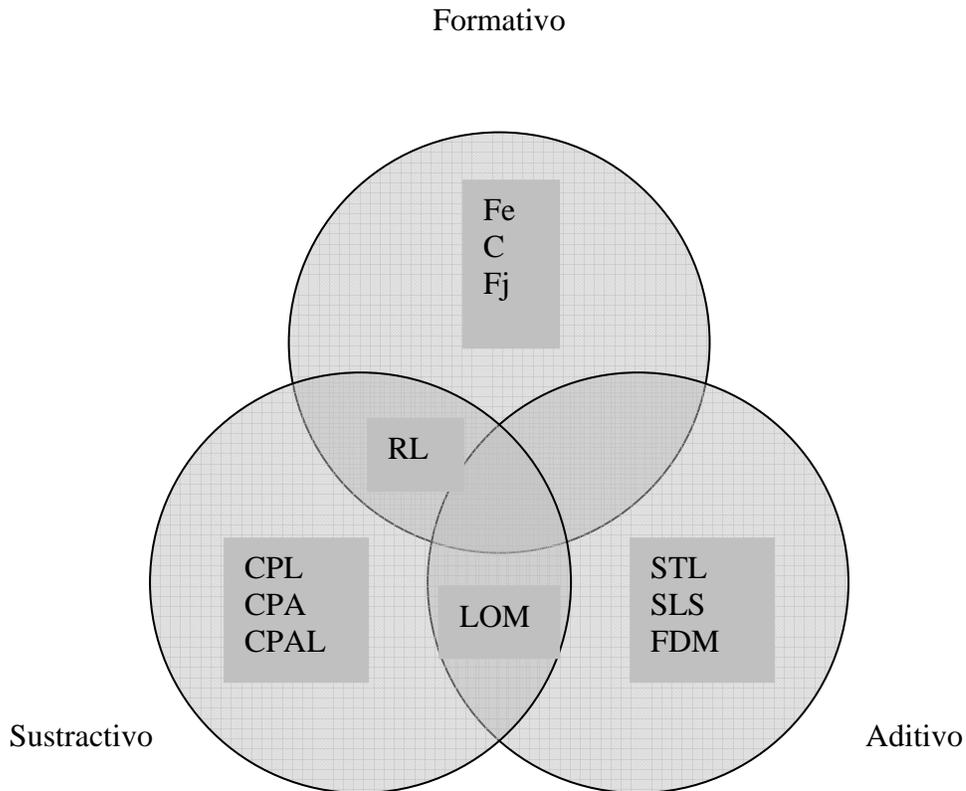
b) El proceso sustractivo incluye: corte por chorro de agua, máquina de láser y corte por alambre. los métodos utilizados son con remoción de material o arranque del mismo, conocido como arranque de viruta. El material es disminuido en volumen al dar la forma.

En la tabla 5.1 se abrevian los procesos con el fin de identificar la relación que existe con el PR.

**Tabla 5.1 Procesos de manufactura**

Procesos abreviados	
Formativo	E: Estampado Fe: Formado electromagnético C: Colado Fj: Forjado
Sustractivo	RL: Rayo Láser CPL: Corte por láser CPA: Corte por agua CPAL: Corte por alambre
Aditivo	LOM: manufactura de objeto laminado SLA: estereolitografía SLS: sinterizado de láser FDM: Deposición de modelo fundido

Si agrupamos los procesos y sus divisiones en un diagrama de Venn Euler tal como la presenta la figura 5.1 con el fin de observar la relación que existe entre dichos procesos se obtiene el siguiente arreglo.



**Figura 5.1 Procesos de manufactura en un diagrama de Venn.**

Como se puede observar en el diagrama la intersección de los procesos Formativo y Sustractivo tiene como resultado el proceso a base de Rayo Láser este se puede utilizar como herramienta de corte.

$$\text{Sustractivo} \cap \text{Formativo} = \text{Rayo Láser}$$

La intersección de los procesos aditivo y Sustractivo tiene como resultado el proceso de objeto laminado.

$$\text{Sustractivo} \cap \text{Aditivo} = \text{LOM}$$

Por último observamos que las intersecciones de los procesos aditivo y formativo como entre los tres no existe tal intersección.

### **5.3 Herramienta Rápida.**

La herramienta rápida es la incorporación de procesos de fabricación desde maquinas CNC, hasta maquinas de electro descarga, para construir herramental en baja producción en un tiempo y costos mínimos y estos procesos son directos e indirectos.

#### **5.3.1 Procesos directos para Herramienta Rápida**

- a) Colada invertida: este proceso es bastante parecido al de la cera perdida con diferencias obviamente de avance técnico, la cera que algunas ocasiones puede ser caucho vinílico es quien le da la forma al interior del molde, la cera es derretida con un autoclave y luego el molde es formado con polvo cerámico finalmente llenado con metal, la aportación de un prototipo rápido para este proceso es del SLS y el FDM.
- b) Moldeo en cáscara: en este proceso se pueden utilizar prototipos rápidos extraídos del LOM, el SLS y el SLA, el material en este proceso trabaja con acrílicos para ser construidos en poli carbonatos.

- c) Colada en arena: éste tradicional proceso ha sido modelo de muchos procesos y es òptimo para herramienta rápida con cavidades expresamente hechas con modelos LOM.
- d) Moldes de silicón: estos moldes pueden ser utilizados para producir moldes de cera o partes de metal con bajo punto de fusión, incluyendo el polvo metálico que pueda fusionarse con plásticos (con propiedades homogéneas).en este proceso el modelo es cubierto con una goma de silicón y la producción se realiza en poliuretano.
- e) Colada centrifuga: este proceso cumple con las características de material igual que el anterior únicamente se realiza con método de centrifugado.
- f) Moldes de resina epoxica: el modelo tomado de cualquier PR es similar al proceso por gravedad (al de arena verde) inclusive puede ser llenado con aluminio.
- g) La aplicación actual de estos dos últimos procesos es con artículos realizados en pastas comerciales conocidas como poli resinas.

### **5.3.2 Implicación del Prototipo Rápido en Herramienta rápida.**

El PR se implica de manera indirecta en la elaboración de moldes por colada por ejemplo en la antigua técnica de colada al vacío donde un modelo PR es inmerso en un recipiente de silicón líquido o goma vulcanizada y una vez que el material endurece es cortado a la mitad y el PR es removido resultando un molde que puede ser utilizado para colar 20 piezas de poliuretano replicas del modelo original PR. 3D System desarrollo el proceso de sinterizado de metal de polvo Keltool utilizando moldes de goma para producir herramientas de metal, en proceso de polvo de metal sinterizado. El porcentaje al infiltrar polvos de metal y resina en un proceso de sinterizado o adhesión es tan

preciso que las propiedades mecánicas alcanzan casi a igualarse con una herramienta procesada por forja.

Otras formas de implicar indirectamente el PR con otros procesos es la colada de arena verde y colada por inmersión

Básicamente para el PR obtenido por LOM.

#### **5.4 Proceso directo**

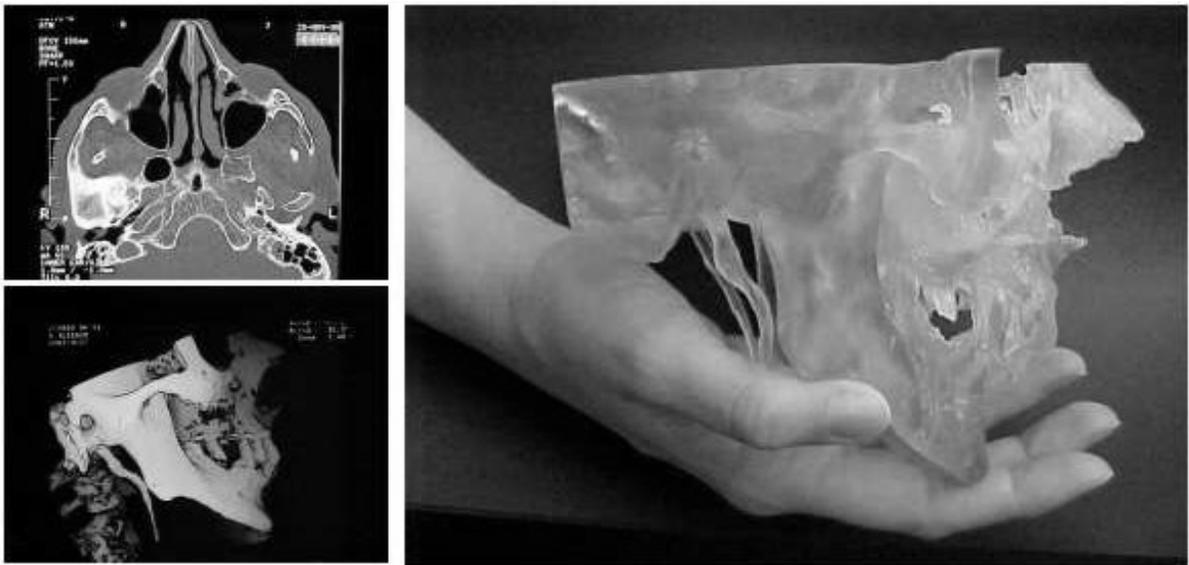
De manera directa se pueden obtener moldes por medio del proceso LENS que incluye material como acero inoxidable 316, Inconel 625,

H13 (acero) tungsteno, carburo de titanio, estos materiales pueden ser fundidos e inyectados por el proceso mencionado. Así como moldes directos e inyección.

## 5.5 Aplicación de Prototipo Rápido.

### 5.5.1 Resultado de un modelo en Estereolitografía.

En la figura 5.2 se muestra el modelo de un cráneo creado con estereolitografía de un archivo médico, hecho con resinas acrílicas. La resolución vertical y por consiguiente el espesor de capa es cerca de 200  $\mu\text{m}$ , la resolución horizontal esta en el mismo rango.



**Figura 5.2 Cráneo**

**(Instituto Brasileiro de Ensino e Pesquisa em Medicina e Odontologia legal)**

La velocidad típica del rayo láser es 100mm/seg, que resulta en un tiempo de proceso de aproximadamente de 15 horas. Otro de 5 a 10 horas para postprocesarlo, incluye postcurado en un horno UV y limpiado de la pieza.

En la tabla 4.1 aparecen algunas empresas que ofrecen servicio de equipo así como de manufactura en cuanto al proceso, minimizando costos y tiempos, tal es el caso del ejemplo de la figura 5.2 en este caso el trabajo es acerca de un cráneo, muchos cirujanos

plásticos así como dentistas están recurriendo al proceso, en la tabla 4.1 se menciona la compañía Ligth Sculpting quien como su nombre lo indica es una empresa dedicada a reproducir figuras y formas a partir de un modelo en fotografía requeridas por el cliente. Los clientes que solicitan los servicios de 3D System para herramientas son Nike, Ford y Black & Decker por citar alguna referencia. La figura 5.3 de abajo muestra la plantilla de un zapato deportivo.

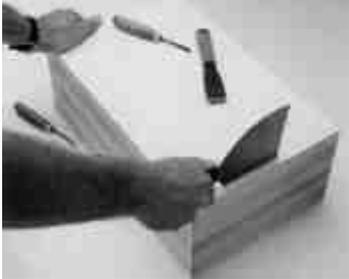


**Figura 5.3 Zapato Deportivo Nike.**  
(Imagen de ZCorp sujeta a derechos de autor)

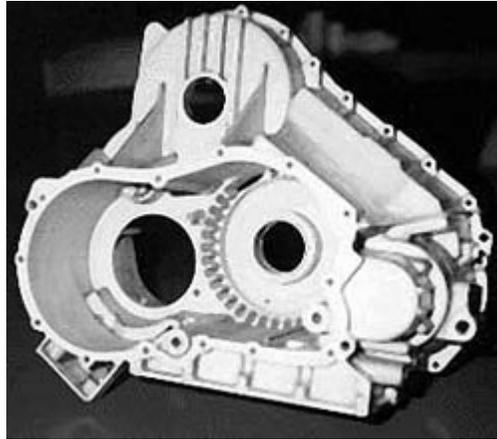
### **5.6 Aplicaciones del proceso laminado (LOM).**

Por muy simple que parezca el proceso en comparación de otros, la demanda del servicio corre a cargo de Helisys al igual que la venta del proceso y el comprador ha sido la administración espacial y aeronáutica de los EU (NASA) y Boeing Rocketedyne quienes utilizan el producto para desarrollar piezas y accesorios aeroespaciales, aunque también otras áreas industriales requieren estos servicios tal es el caso de accesorios para redes de fluidos como son coples o niples. Como se presenta a continuación.

**La tabla 5.2 Muestra por pasos el proceso remoción de una pieza LOM**  
 (Trabajo realizado por optiLom y editada por *journal of engineering manufacture* Vol. 214,  
 prtB pp 947-951, (2000) Frankfurt Alemania. Imagen sujeta a derechos de autor)

	<p><b>Paso1.El Bloque escaneado en el proceso es removido.</b></p>
	<p><b>Paso 2.En el bloque previamente suajado se separan piezas para exponer el modelo predeterminado.</b></p>
	<p><b>Paso3.Finalmente se descubre la totalmente la superficie de interés.</b></p>
	<p><b>Paso 4. Ahora él objeto puede someterse a un proceso de colada o ser pulido, pintado si se desea.</b></p>

Otro ejemplo LOM es el modelo de la carcasa de un motor para herramienta indirecta que se muestra en la figura 5.4.



**Figura 5. 4 Realización en el proceso LOM muestra el modelo de la carcasa de un motor.**

(Hecha en una máquina modelo Helisys 2030H (32"x 22"x 20") 810 x 555 x 500 mm por Select MFG Services Inc. Imagen a escala sujeta a derechos de autor)

### **5.7 Aplicaciones de Sinterizado de Láser Selectivo.**

Quienes van a la vanguardia en servicios y venta del proceso, son Z-corp y EOSINT (Sistema Electro Óptico de Alemania) sus principales clientes son Boeing Rocketeddyne, Reebok, Rover Group los primeros, utilizan los servicios en accesorios aeroespaciales y también herramientas utilizadas en sus equipos de mantenimiento. Mientras que Reebok ha utilizado por un tiempo el proceso para desarrollar una gama de modelos en zapato deportivo (conocido como tenis) mientras que Rover Group quien se dedica al desarrollo de piezas automotrices y herramienta con el mismo fin contrata los servicios de EOSINT.

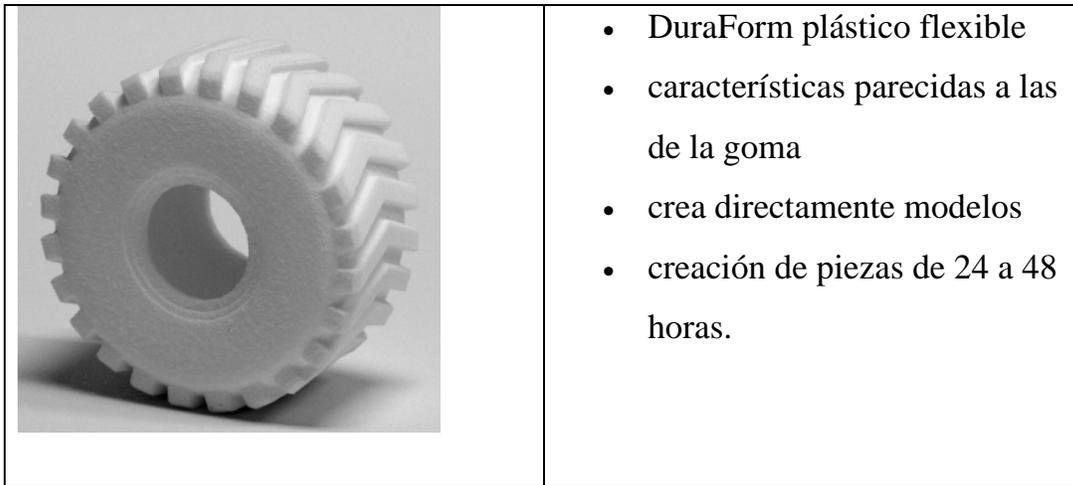
Entre las piezas desarrolladas en la industria automotriz EOSINT tiene piezas funcionales tales como un tanque de gasolina hecho en FKM industries, proyecto desarrollado y fabricado en 4 días, como se presenta la figura 5.5 realizado en una máquina EOSINT P 700 con material plástico compuesto de poliamida de nomenclatura PA 2200.



**Figura 5.5 Tanque de gasolina proyecto desarrollado en una máquina EOSINT P 700 con material PA 2200(similar al poliéster).**

Los compuestos base polímeros son una atractiva alternativa a metales y aleaciones, cuándo el peso de las estructuras es importante como es el caso del modelo presentado para la industria automovilística. Obviamente el ensayo de laboratorio, bajo condiciones de servicio representativas, no puede ser realizado en la totalidad del intervalo de vida mientras se selecciona o desarrolla el material, muchos de estos ensayos se efectúan con compuestos de fibra de carbono y matriz polimérica epoxy y fibras de carbono continuas.

EOSINT al igual que en otros procesos trabaja con prototipos a escala para efectos de prueba tal como se presenta en la figura 5.6 cuyas características están presentadas al lado de la figura 5.6.



**Figura 5.6 Llanta de tractor a escala**

**(Modelo realizado por Ca-Models con equipo EOSINT sujeta a derechos de autor)**

## **5.8 Aplicaciones Deposición de Modelo Fundido (FDM)**

Aun cuando los procesos tienen una diferencia en cuanto a aplicación se puede realizar un prototipo que se haya efectuado en otro proceso tal es el caso de un esqueleto, trabajo anteriormente ejecutado en estereolitografía (Fig. 5.2) y aplicado en cuestiones médicas, el proceso FDM en cuestión presenta un modelo similar en la figura 5.7.



**Figura 5.7 Cráneo creado en (FDM)**

**(Diseñado por Javelin 3D reconstrucción y manufactura en una máquina  
Stratasys, modelo sujeto a derecho de autor)**

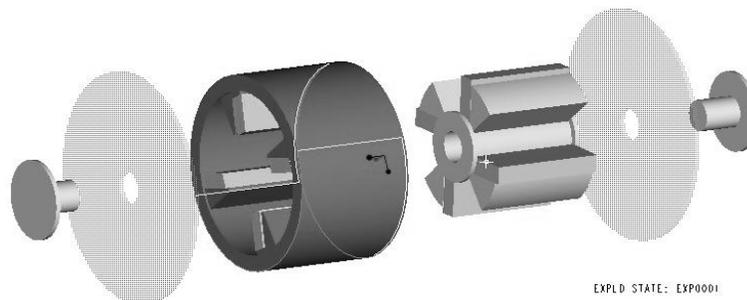
### 5.8.1 Producto final en Deposición de Modelo Fundido (FDM)

Una de cuatro partes fue construida utilizando la DMF del proceso. De prototipo rápido esta parte es la más grande y porción de un cojinete (carcasa de un cojinete), construido de manera sencilla y exacta evadiendo la complicada geometría la figura 5.8 presenta el modelo (Permanent Magnetic Return Torque Micro-Bearing; por Stratasys).



**Figura 5.8** Carcasa de un cojinete

En la forma clásica y tradicional de armar un cojinete, es difícil contar con las posiciones. Únicamente utilizando técnicas de herramiental rápido ayudan a fijar centros de posición, previniendo movimientos axiales o radiales fuera de centro, abajo se muestra la figura 5.9 de la pieza complementada y finalmente armada.



**Figura 5.9** Estructura completa del rodamiento propuesto en FDM

## 5.9 Aplicaciones Biomédicas <sup>52</sup>

La infinidad de investigaciones biomédicas recopiladas en base al prototipo y manufactura rápida daría para otro trabajo y principalmente en el área de prótesis, desde dentaduras, lentes intraoculares hasta discos cervicales, es demasiada la información para poder escudriñarla en dos o tres cuartillas por qué en estos temas se le da más importancia a los materiales y a la función que el prototipo va a tomar en la parte anatómica. Sin embargo es necesario indicar algunos logros en este rubro.

Existen laboratorios y empresas que desarrollan una serie de artículos dirigidos al sector salud, pero algunos de ellos dedican una gran parte de tiempo a desarrollar e inclusive a perfeccionar el prototipo en el que han trabajado tanto tiempo, es el caso de los laboratorios Johnson & Johnson<sup>19</sup> y laboratorios Baxter. En el primer caso se ha dedicado a desarrollar aparte de otras prótesis válvulas como la válvula unidireccional o válvula para tratamiento hidrocefálico para impedir el reflujo al cerebro que discurre entre la cabeza y el tórax o abdomen por debajo de la piel. Estos dispositivos en lenguaje coloquial se denominan "válvulas" y existe una gran variedad en el mercado.

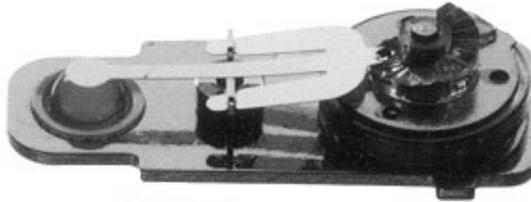
Las características para su conexión son conector recto de acero inoxidable o polipropileno, catéter distal de 85 centímetros ( $\pm 10$  cm.), con o sin introductor de polietileno maleable y desechable.

Un clásico sistema de derivación de silicona que solo ofrece pocos rangos de presión para elegir, la Válvula Programable CODMAN HAKIM posee 18 rangos de presión. Los mismos procesos de fabricación de miniatura que hacen que la válvula sea precisa también la hacen confiable. Solo se seleccionan materiales superiores que pueden adaptarse a las condiciones de los pacientes con hidrocefalia.

---

<sup>52</sup>) Laboratorios Johnson & Johnson comunicación personal (Noviembre de 2006).

Además, las partes son completamente biocompatibles y con el bajo perfil del diseño standard y del micro-diseño se obtiene como resultado un implante no obstructor. Una vez ensambladas, las válvulas se evalúan cinco veces por separado antes de confirmar que satisfacen las estrictas normas de funcionamiento tal como lo presenta la figura 5.10



**Figura 5.10 Mecanismo programable sin carcasa obtenido en SLA**

## CAPÍTULO 6

---

### COSTOS

#### **6.1 Introducción**

El costo de la máquina se acota de acuerdo a las necesidades, planteadas del diseño y dependiendo el ramo industrial que lo solicite, en el ámbito industrial y de investigación científica la importancia económica decrece pues el resultado de un prototipo rápido bajo cualquier circunstancia requiere de solucionar una gran cantidad de problemas reiteradamente en cualquier ámbito. El costo de los modelos varía dependiendo de su geometría (superficie y volumen), así como del tipo de acabado que se le quiera dar pero el recurso de planeación supera cualquier dificultad de diseño.

#### **6.2 Demanda de Prototipos Rápidos.**

El mercado en cuanto a equipos de prototipo rápido ha tenido una demanda incremental de un 40 % en menos de 10 años y ello se ve reflejado en el crecimiento productivo de artículos dirigidos al ramo industrial y científico, los ejemplos son perceptibles en el caso de aplicación de prótesis, la oferta de las mismas en donde los modelos y moldes son desarrollados en equipos de procesos rápidos están cumpliendo los objetivos, satisfacen la demanda de quien lo requiere y esto socialmente también se ve reflejado en la misma demanda. El ramo industrial en donde la demanda abarca extensiones

comerciales superiores arriba del plano medico, incrementa moldes y modelos ergonómicos en herramientas equipos eléctricos y electrónicos así como en el ramo de la industria del entretenimiento tales como juguetes donde estos son permutables hasta en menos de 6 meses, pese a que la demanda es muy grande. Empresas de construcción y mantenimiento mecánico han reducido costos y tiempo en la adquisición de equipos para producir modelos en su respectiva área. Es el caso de la arquitectura en primer plano, donde algunas constructoras implementan planificación y prototipo en un solo paso reduciendo costos, aumentando factibilidad y optimización con funcionalidad cerca del 100%, el proceso para efectuar un prototipo arquitectónico, es muy parecido a la manufactura de objeto laminado (LOM).

Algunas características conceden ciertas ventajas al trabajo a ejecutar y ello reduce costos, el hecho de que la adición de componentes técnicos en cuanto a material y funcionalidad del mismo, tienen un costo y por lógica, en la proporción del incremento de elementos, se tiene un incremento al costo. Ahora también se considera el prototipo a producir, no se ha mencionado a los prototipos únicos los cuales son creados por única vez muchas veces sin recurrir a la duplicidad o multiplicidad del mismo este es el caso de algunos dispositivos orgánicos para aplicación en medicina por ejemplo en las válvulas del corazón la ejecución de dicho dispositivo se recurre a los procesos de estereolitografía y contadas ocasiones estas tienen poca demanda.

### **6.3 Costo de Máquina**

Existen productos desarrollados en los demás procesos, en donde el prototipo únicamente juega el papel preponderante de un prototipo para molde o modelo y ello aun reduce más el costo.

Ya en capítulos anteriores se cotejaron y anotaron costos de algunas maquinas en unas tablas, la fecha de estas datan de 1993, el sondeo e investigación con costos de máquinas después del 2000 observa que no ha despegado la cotización en demasía ni en una década, si hubiese una pregunta acerca del por que los costos en una década no representan un alejamiento muy perceptible, la respuesta es que el análisis de venta de acuerdo a requerimiento y disponibilidad responde a la ley de oferta y demanda, y económicamente pude aplicarse en predicciones probabilísticas. las innovaciones técnicas sido llevadas al desarrollo y fabricación y venta de sus propios dispositivos y materiales así como elementos para funcionalidad de estas innovaciones un ejemplo muy perceptible, es el software para la Computadora, no así algunos artículos se siguen produciendo por comodidad de forma tradicional y de igual manera en un análisis de mercado se empieza a contemplar que los artículos producidos en forma tradicional comienzan a rezagarse.

Por ejemplo:

El costo de una máquina para generar Prototipos Rápidos fluctúa entre los 30 y 35 mil dólares. Z-corp maneja una promoción de una máquina con un costo de \$ 25,900 (dólares), desde hace 8 años,

Con las siguientes características;

- 1) Velocidad de construcción de capas (2 capas por minuto).
- 2) Dimensión de construcción: 10"x14"x 8" (254x356x203mm).
- 3) Espesor de capa, utilizando tiempo selectivo de impresión (.089-.203).
- 4) Opción de material: composición de alto desempeño, colada directa.
- 5) Resolución: 600x540 dpi.
- 6) Número de cabezas de impresión: 4
- 7) Dimensión del equipo: 42"x31"x50".

8) Peso del equipo: 204kg.

El ejemplo anterior se da como el mínimo estándar que se maneja en la comercialización de estos equipos.

En la tabla 6.1 se encuentran equipos, dependiendo el uso o selección para trabajar. Esta última acotación especificaciones y costo, aunque es mínima se puede comparar con los datos ya dados desde tablas en capítulos anteriores el análisis de muestreo.

A continuación se anotan los costos del principal líder de ventas en maquinas de prototipo rápido que es Z-corp también distribuidora de 3D-System, dos de las empresas pioneras no solo en ventas sino innovadoras y constructoras de estas máquinas. Mientras que Helisys corp-USA, se encarga de promover los equipos para el proceso LOM y Stratasys con la 3D modeler.

**Tabla 6.1 Costo de Máquina (año 2007).**

Compañía	Maquina	Proceso	Dimensiones de trabajo "in(mm)	Costo de maquina (pesos)	observaciones
Z corporation EE.UU	SLA-500	SLA	20" x 20" x 24" (508 mm x 508 mm x 610 mm),	\$420,000	Utiliza 67 galones (254 litros) de polímero
Z corporation EE.UU	SLA-250	SLA	10" x 10" x 10" (254 mm x 254 mm x 254 mm)	\$210,000	Utiliza 7.8 galones (29.5 litros) de polímero
Stratasys	3Dmodeler	FDM	0.8x0.9x1.8m(2.5x3.0x6.0ft),	\$182,000	Nylon
Z corporation EE.UU	Sinterstation 2000	SLS	15 in en diámetro	(\$397,000 \$427,000 añadiendo cuatro materiales	\$25,000.con un material añadido
Helisys corp-USA	LOM-1015	LOM	15"X10"X14"	\$850,000	
Helisys corp-USA	LOM-2030	LOM	32" x 22" x20"	\$140,000	



# CONCLUSIONES

En base al estudio realizado en este trabajo se concluye lo siguiente:

1. Se ha cumplido con el objetivo de recopilar en un documento información relativa a los procesos empleados en la producción de Prototipos Rápidos, presentando con mayor detalle los procesos:
  - A. Estereolitografía
  - B. Manufactura de Objeto Laminado
  - C. Sinterizado de Láser Selectivo
2. Se considera que el trabajo permitirá al lector obtener conocimiento con relación a los procesos antes mencionados con la finalidad de poder seleccionar la mejor opción en producción de Prototipos Rápidos de acuerdo con sus necesidades.
3. En la adición a lo anterior se presenta en este trabajo un pequeño análisis de costo de cada uno de los procesos (cuatro procesos propuestos) empleados en la generación de Prototipos rápidos, con el fin de reforzar un criterio de evaluación y selección.
4. Cada uno de los procesos de producción de Prototipos Rápidos son desarrollados de forma específica, empleando materiales diferentes en cada caso, por lo cual la selección de cualesquiera de ellos dependerá de la aplicación específica que se pretenda del prototipo, considerando que de acuerdo al tipo de proceso y material cada prototipo ofrece propiedades mecánicas, físicas y químicas muy específicas.

## BIBLIOGRAFÍA.

- 1) André, J.C., Le Méhauté, de Witte, O. (1984), "Dispositif pour réaliser un modèle de pièce industrielle", French patent.
- 2) Ashley, S. (1995), "Rapid prototyping is coming of age", *Mechanical Engineering*, pp.63-8.
- 3) Ashley, "From CAD Art to Rapid Metal Tools," Mechanical Engineering March 1997: 82.
- 4) Ayache .N "Artificial Vision for Mobile Robots". IT Press, Cambridge, MA.1991.
- 5) Beiser Arthur Ph.D."Teoría y problemas en Ciencias Físicas" Serie Schaum Edit Mc Graw Hill Edición en Español 1976 ref. Pág. 69 Cáp. 11 (Radiación).
- 6) Bourell, D.L., Crawford, R.H., Marcus, H.L., Beaman, J.J., Barlow, J.W. (1994), "Selective laser sintering of metals", *Manufacturing Science and Engineering ASME*, Vol. 68 No.2, pp.519.
- 7) Brumer, Paul y Shapiro, Moshe"Reacciones Químicas Controladas por Laser".Investigación y Ciencia Barcelona, Científica, mayo, 1995.
- 8) Byron S Gottfried" Programación Basic" Edit Mc Graw Hill Edición en Español 1983 Cáp. 1 pags3-4 (introducción a las computadoras).
- 9) Calvert, G. (1994), "Rapid prototyping for experimental analysis", IEE Manufacturing Division Colloquium on Rapid Prototyping in the UK.
- 10) Carosi, A., Poggi, D., Iuliano, L., Settineri, L. (1996), "Investigation on stereolithography accuracy on both Massive and QuickCast parts", *Proceedings of the 5th European Conference on Rapid Prototyping and Manufacturing*, Helsinki (Finland), pp.121.
- 11) Chen, H.C., Corbel, S., George, A., Jezequel, J.Y., Andre, J.C. (1993), "Laser induced paste agglomeration: a new process for rapid prototyping", *Colloques du Journal de Physique*, Vol. 3 No.7, pp.2193.
- 12) Cherradi, N. (1997), "Study of the Electrolux DMLS powders", *Internal Research Reports*, Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne.
- 13) Chua C. K., Leong K. F. and LIM C. S." Rapid Prototyping" Nan yang Technological University, Singapore 1997-1998.

- 14) Cohen, A.L. (1992), "Rapid prototyping: an industry perspective", *Proceedings of the SME Rapid Prototyping Technology*, Dearborn, USA.
- 15) Colluci, F. (1994), "Laser stereolithography: enlightened modelling", *Vertiflite*, Vol. 40 No.3, pp.14-17.
- 16) Coremans, A., Kauf, M., Hoffmann, P. (1996b), "Laser assisted rapid tooling of molds and dies", *Proceedings of the 5th European Conference on Rapid Prototyping and Manufacturing*, Helsinki, Finland, pp.195-210.
- 17) CRIF-Liège (1996), *Informaciòn*.
- 18) Das, S., Wohler, M., Beaman, J.J., Bourell, D.L. (1997a), "Direct selective laser sintering and containerless hot isostatic pressing for high performance metal components", *Proceedings of the Eighth Annual Solid Freeform Fabrication Symposium*, pp.81-90.
- 19) De Berg. M." *Computational Geometry: Algorithms and Applications*".Springer-Verlag. NewYork1997.
- 20) De Garmo, E.P., Black J.T., and Kohser, R.A. *Materials and processes in Manufacturing*.8TH ed. Wiley, New York, 1997.
- 21) De Berg." *Computational Geometry: Algorithms and Applications*".Springer-Verlag. NewYork1997.
- 22) Donald Q. Kern" *Procesos de Transferencia de Calor*" Edit CECSA Decimanovena Edición impresión agosto de 1986 ref. 85 Cap4 (Radiación y Emisividad sobre los materiales).
- 23) Edelsbrunner, H and N. R. Shah *Incremental Topological Flipping Works for Regular Triangulations "Proceedings of the Eight Annual Symposium Computational geometry"*.1992 pp.43-52.
- 24) Electrolux Rapid Development Information Leaflet (1996), *The Shorter Countdown*.
- 25) Encyclopaedia thematic "*fulsi .com*"(2003).
- 26) Freeform fabrication", *JOM*, Vol. 45 No.11, pp(1998).66-70.

- 27) Gebhardt, A., Petschke, U. (1996), "Rapid prototyping - laser-gestützte revolution der produktentwicklung", *Laser Magazin*, Vol. 1.
- 28) Geiger, G.H., Poirier, D.R. (1973), *Transport Phenomena in Metallurgy*, Addison-Wesley.
- 29) Geiger, M., Coremans, A., Neubauer, N., Niebling, F. (1996), "Advanced rapid prototyping by laser beam sintering of metal prototypes - design and development of an optimised laser beam delivery system", *Proceedings of the European Symposium on Laser, Optics and Vision for Productivity in Manufacturing II*, Besançon, France.
- 30) German, R.M. (1996), *Sintering Theory and Practice*, J. Wiley & Sons.
- 31) Girouard, D. (1993a), "The SLSTM selective laser sintering process: technology, applications, and materials for advanced rapid prototyping", *Proceedings of the IBEC '93*, Detroit, pp.10-14.
- 32) Girouard, D. (1993b), "Molds for low temperature molding processes using rapid prototyping", *Proceedings of the 4th International Conference on Rapid Prototyping*, Dayton, USA.
- 33) Glenn Hartwig, "Rapid 3D Modelers,"(1996)
- 34) Gremaud, M., Wagnière, J.-D., Zryd, A., Kurz, W. "Laser metal forming", to be published (1993).
- 35) Griffiths, M. (1993), "Rapid prototyping options shrink development costs", *Modern Plastics*, Vol. 70 No.9, pp.24.
- 36) Hilton Peter, "Making the Leap to Rapid Tool Making," Mechanical Engineering July 1995: 75.
- 37) Hoadley, A., Drezet, J.-M. (1991), "Modélisation thermique de la refusion et du traitement de surface par laser, Lasers de puissance et traitement des matériaux", *Ecole de Printemps*, Sireuil, France.
- 38) Hull, H.W. (1984), "Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography".
- 39) Jacobs P.F" Rapid Prototyping and other technologies"(1994)
- 40) Jacobs, P.F. (1993), "Quickcast 1.1 and rapid tooling", *Proceedings of the 4th International Conference on Rapid Prototyping*, Dayton, USA.

- 41) Jepson, L., Beaman, J.J., Bourell, D.L., Wood, K.L. (1997), "SLS processing of functionally gradient materials", *Proceedings of the Eighth Annual Solid Freeform Fabrication Symposium*, Austin, USA, pp.67-80.
- 42) Kazanas H.C. Glenn E. Baker Thomas G. Gregor "Procesos Básicos de Manufactura" Edit Mc Graw Hill 1983 México. Ref pags 15, 103, 132 (Moldeo) (1983).
- 43) Kerschensteiner, T.A. (1992), "AMP Inc.: a simultaneous engineering case study", in Jacobs, P.F. (Eds), *Rapid Prototyping & Manufacturing: Fundamentals of Stereolithography*, SME, Dearborn.
- 44) Kapadia P. and J. Downed "Review of mathematical models of deep penetration laser welding," *Laser Engineering*. Vol 3 pp187-280 (1993).
- 45) Killander, L.A. (1995), "Future direct manufacturing of metal parts, with free form fabrication", *Annals of the CIRP*, Vol. 44 No.1, pp.451.
- 46) Klocke, F., Clemens, U. (1996), "Rapid tooling combining laser generating and high speed milling", *Proceedings of the 5th European Conference on Rapid Prototyping and Manufacturing*, Helsinki, Finland, pp.211.
- 47) Kodama, H. (1980), "Device of three-dimensional fabrication".
- 48) Kreutz, E.W., Backes, G., Gasser, A., Wissebach, K. (1995), "Rapid prototyping with CO2 laser radiation", *Applied Surface Science*, Vol. 86 No.1, pp.310.
- 49) Laboratorios Baxter, comunicación personal (Octubre de 2006).
- 52) Laboratorios Johnson & Johnson, comunicación personal (Noviembre de 2006)
- 50) Lakshminarayan, U., Marcus, H.L. (1994), "Ceramic composites fabrication by selective laser sintering", *Materials and Manufacturing Processes*, Vol. 9 No.5, pp.932.
- 51) Langdon, Ray "A Decade of Rapid Prototyping," Automotive Engineer May 1997: 44-45.
- 52) Learning Factory Rapid Prototyping Home Page (2005).
- 53) Lewis, G.K. (1995), "Direct laser metal deposition process fabricates near-net-shape components rapidly", *Materials Technology*, Vol. 10 pp.3-4.
- 54) Luthe, Olivera Schutz "Métodos Numéricos" Edit LIMUSA 1978 Cap1 pags 17-22 (introducción a las computadoras).

- 55) Manual del Tornero Dirección cablegráfica“TWINS”South Bend EUA, Distribuido por LEON WELL (Ed.1970)
- 56) Marshall Burns”Automated fabrication improving productivity in manufacturing”.Edit:PTR Prentice Hall 1993.
- 57) McGervey JohnD.” Introducción a la física moderna” Edit Trillas Ref pags 362-363(laser) (1975).
- 58) M. Morris Mano”*Logica Digital y Diseño de Computadoras*” Edit Prentice Hall Ref. Edición en Inglés 1988 Cáp. 10 Pág. 424 (control y procesadores) ref. Cáp. 1(introducción) Págs. 1, 2,3.
- 59) Manthiram, A., Bourell, D.L., Marcus, H.L. (1993), "Nanophase materials in solid
- 60) Michaels, S., Sachs, E.M., Cima, M.J. (1993), "Metal parts generation by three dimensional printing", *Proceedings of the 4th International Conference on Rapid Prototyping*, Dayton, USA.
- 61) Morton Jones D.H.”Procesamiento de plásticos” Edit LIMUSA Versión Español 1993 ref. Cap119-26(Polimerización).
- 62) Pamela J. Waterman, "Rapid Prototyping," DE March 1997: 30.
- 63) Romera J. Pedro “Automatización”2ªedicion 1996 Edit Paraninfo España.
- 64) Sachs, E., Allen, S., Guo, J.E., Banos, B., Cima, M.J., Serdy, J., Brancazio, D. (1997), "Progress on tooling by 3D printing; conformal cooling, dimensional control, surface finish and hardness", *Proceedings of the Eighth Annual Solid Freeform Fabrication Symposium*, Austin, USA, pp.115-.
- 65) Schuhmacher, B. (1996), "Rapid prototyping-technologien: merkmale anwendungen, erwartungen", Workshop zu den Verfahren des “Rapid Prototyping”, Olten, Switzerland.
- 66) Shellabear, M., Reichle, J., Langer, H.L. (1995), "Rapid prototyping and tooling using stereolithography and laser sintering", *Proceedings of the 11th International Symposium for Electromachining*, Lausanne, Switzerland.

- 67) Smock, D. (1995), "New mold making systems slice art-to-part cycles", *Plastics World*, Vol. 53 No.7, pp.38-42.
- 68) Steen William M "Laser Material Processing" second edition
- 69) Styger, L. (1994), "Rapid prototyping and tooling: the enabling technology of the '90s", IEE Manufacturing Division Colloquium on Rapid Prototyping in the UK..
- 70) Styger, L. (1995), "Firming designs", IEE Review, Vol. 41 No.1, pp.38.
- 71) Subramanian, P.K., Marcus, H.L. (1995), "Selective laser sintering of alumina using aluminium binder", *Materials and Manufacturing Processes*, Vol. 10 No.4, pp.689-706.
- 72) Thoma, D.J., Lewis, G.K., Nemec, R.B. (1995), "Solidification behavior during directed light fabrication", *Beam Processing of Advanced Materials*, ASM.
- 73) Thoma, D.J., Charbon, C., Lewis, G.K., Nemec, R.B. (1996), "Directed light fabrication of iron-based materials, advanced laser processing of materials - fundamentals and applications", MRS.
- 74) Tromans G., Winpenny D". *Rapid Manufacturing*"
- 75) Ulerich, P.L. (1992), "Rapid prototyping: cornerstone of the new design process", *Proceedings of the 1992 ASME International Conference on Computers in Engineering, Computers in Engineering*, ASME, New York, NY, pp.275-81.
- 76) Vail, N.K., Balasubramanian, B., Barlow, J. (1996), "Thermal model of polymer degradation during selective laser sintering of polymer coated ceramic powders", *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 2 No.3, pp.24-40.
- 77) Van der Schueren, B., Kruth, J.-P. (1995a), "Laser based selective metal powder sintering: a feasibility study", *Manufacturing Systems*, Vol. 24 No.6, pp.517-23.
- 78) Van der Schueren, B., Kruth, J.-P. (1995b), "Powder deposition in selective metal sintering", *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 1 No.3, pp.23-31.
- 79) Wohlers, T. (1995a), "Rapid prototyping: state of the industry, 1994-95 worldwide progress report", *Proceedings of RPA/SME Rapid Prototyping Conference*.
- 80) Wohlers, T. (1995b), "Rapid prototyping in Japan and Europe", *RPA/SME Rapid Prototyping Newsletter*, Vol. 1 No.2.
- 81) Wohlers T.(1995c) "The world of Rapid Prototyping" *Proceedings of the fourth international conf desktop manufacturing*,

## SITIOS DE INTERNET REFERIDOS A PROTOTIPO RÁPIDO

82) *Dayton University Rapid Prototyping*. "Freeform Fabrication of Structural Ceramics and Ceramic Matrix Composites by Laminated Object Manufacturing (LOM)," 1998. <http://www.udri.udayton.edu/rpdl/sff2.htm> (Accessed 4/21/98).

83) Gene Bylinsky, "Industry's Amazing New Instant Prototypes," *Fortune Features*. January 1998. <http://www.pathfinder.com/fortune/1998/980112/imt.html> (Accessed 3/29/98).

84) *Laboratory for Freeform Fabrication of Advanced Ceramics at Rutgers University*. 1998. <http://www.caip.rutgers.edu/sff/> (Accessed 4/21/98).

85) Lee E. Weiss, "SFF Processes," *JTEC/WTEC Panel Report on Rapid Prototyping in Europe and Japan*. March 1997. [http://itri.loyola.edu/rp/02\\_02.htm](http://itri.loyola.edu/rp/02_02.htm) (Accessed 4/18/98).

86) Matthew Wieckowski, "Alternative Helmet Design," *Rehabilitation Robotics Research Program*. 10/25/96. <http://www.asel.udel.edu/rapid/helmet/> (Accessed 4/21/98).

87) Michelle Griffith and John S. Lamancusa, "Rapid Prototyping Technologies," Rapid Prototyping. 1998. <http://www.me.psu.edu/lamancusa/me415/rpintro2.pdf> (Accessed 4/20/98).