

Rapid Prototyping: Una herramienta para el Diseño de Productos

Ing. Pacheco, Luis

Ing. Pastor, José

INTRODUCCIÓN

Los Ingenieros diseñan nuevos productos los cuales son útiles para ayudar al desarrollo de la humanidad. Éstos usan sus niveles analíticos, su experiencia, e intuición, junto con una lista siempre cambiante de herramientas de diseño para la creación de nuevos productos los cuales son más rápidos, fáciles de usar y más eficientes que los productos existentes. Todo esto es de suma importancia debido a que la compañía que los contrate debe ser competitiva en relación con las demás compañías. Éstos poseen la capacidad de avanzar en las tecnologías aplicadas a los productos que diseñan, también desarrollan nuevas técnicas y tecnologías en las herramientas utilizadas para diseñar. En el auge competitivo existente, debido a la globalización de los mercados, es estrictamente necesario que los Ingenieros tomen las ventajas de las nuevas herramientas diseñadas en el instante en que éstas estén disponibles.

Un nuevo diseño de herramienta ha sido introducido como una ayuda en el diseño y manufactura de nuevos productos, le cual va a cambiar la manera de como estos productos son introducidos o llevados al mercado. Esta nueva herramienta, *Diseño Rápido de Prototipos (Rapid Prototyping o RP)*, permite a los Ingenieros la creación, mediante sus diseños, de prototipos físicos en cuestión de horas. Una gran variedad de dispositivos están comercialmente disponibles, los cuales producen prototipos, ya sean de papel, plástico, cerámica, cera o metal, automáticamente. Los prototipos son usados posteriormente para verificar la forma, precisión o función de sus diseños. La habilidad para verificar rápidamente un diseño, le permite al Ingeniero observar los errores existentes antes del proceso de diseño en sí, para completar más iteraciones del diseño en menor tiempo, y además, para colocar más rápidamente los productos en el mercado con un menor costo de diseño.

1.1- ¿ Qué es el Diseño Rápido de Prototipos?

Es una técnica de Diseño Asistido o Ayudado por Computadora (CAD) la cual permite la creación "automática" de un modelo o prototipo físico proveniente de un modelo sólido de 3 dimensiones en cuestión de horas o días.

Las máquinas de Diseño Rápido de Prototipos (RP) producen un objeto real de 3 dimensiones de un modelo sólido guardado como un archivo electrónico en una computadora.

Este modelo sólido es creado por un Ingeniero o diseñador mediante la utilización de un sofisticado software de Diseño Asistido por Computadora (CAD). El modelo sólido es más que diseñar la pieza, es una representación electrónica en 3 dimensiones del objeto que está siendo diseñado. El diseñador puede ver el modelo sólido a través de la pantalla del computador o crear dibujos en papel del mismo. El modelo puede ser rotado y visto desde cualquier ángulo. La computadora puede crear información del modelo sólido, la cual no estaría disponible en un dibujo. Por ejemplo, el volumen del modelo puede ser determinado automáticamente o la computadora puede chequear las interferencias existentes entre las piezas a acoplar.

Otros términos los cuales describen esta técnica de Diseño Rápido de Prototipos (RP), incluyen ala manufactura de oficina, fabricación automatizada, manufactura sin herramientas, cualquier forma libre en la fabricación de sólidos y la impresión en 3D.

Los procesos del Diseño Rápido de Prototipos (RP) caen en tres categorías generales:

- *Sustractivos*, en los cuales las máquinas de Diseño Rápido de Prototipos (RP) escarban un bloque de material para producir ciertas formas

- *Aditivos*, en los cuales las máquinas de Diseño Rápido de Prototipos (RP) construyen un objeto mediante la unión de partículas de polímeros o capas.

- *Compresivos*, en los cuales la máquina de (RP) transforma un material semisólido o líquido en una forma que posteriormente se solidifique.

1.2- ¿Por qué es importante el Diseño Rápido de Prototipos

Cada producto que uno utiliza, toca o ve, ha sido ideado o desarrollado con la finalidad de producir ganancias a las compañías que los produjeron. Para poder recibir estas ganancias, las compañías deben ser eficientes. El costo de manufactura es mantenido en un nivel bajo mediante la producción de productos bien diseñados.

El diseño y desarrollo de un nuevo producto representa una gran inversión inicial, la cual incrementa los costos de manufactura del producto. La manera de cómo inciden estos costos en el precio del producto, dependerá de cuantas unidades la compañía espera vender.

Las técnicas del Diseño Rápido de Prototipos (RP) permite a la Ingeniería del diseño del proceso, progresar mucho más rápido y a un costo más bajo que los métodos tradicionales en la realización de prototipos. Esto hace que los productos diseñados sean más baratos y permite a los productos llegar al mercado de una forma más rápida. Estas dos ventajas de las técnicas de Diseño Rápido de Prototipos (RP) pueden marcar la diferencia entre el éxito y el fracaso a una compañía de manufactura.

1.3- ¿Quién usa RP?

Las industrias aeroespaciales, automotoras, electrónicas, de juguetes y de productos de consumo usan extensamente prototipos y modelos,

Alrededor del 10% de todas las plantas de manufactura y oficinas de diseño gastan más de 100.000\$ cada año para el prototipado convencional y rápido. Generando prototipos rápidos tempranamente en el ciclo de desarrollo del producto se puede ahorrar tanto como el 80-90% en costos de trabajo y tiempo en relación con el prototipado convencional.

Las empresas que crean más de doscientos modelos al año pueden justificar la compra de su propio sistema de RP. Luego, las empresas que crean pocos mo-

dalos al año se beneficiarían por la utilización de las instalaciones de servicio de RP.

1.4- El Proceso de Diseño en ingeniería.²

Cuando los Ingenieros crean un producto nuevo, éstos siguen generalmente un plan o secuencias establecidas de pasos en el diseño de ese producto. Este plan varía un poco dependiendo en quien esté diseñando el producto nuevo, las metas que el diseñador tiene para el producto nuevo y el nivel de producción esperado para el mismo. A pesar de estas variaciones, como sea, el formato que se muestra a continuación es generalmente seguido:

1.4.1- EL CONCEPTO:

El diseño de un nuevo producto comienza con el concepto:

- Este puede ser una idea "brillante" para un nuevo dispositivo.
- El concepto de un nuevo producto quizás surja de un problema que necesita ser resuelto.

Las grandes compañías tienen grupos de búsqueda cuya función es la de generar ideas para crear nuevos productos y buscar la forma de mejorar los ya existentes.

1.4.2- DISEÑO PRELIMINAR:

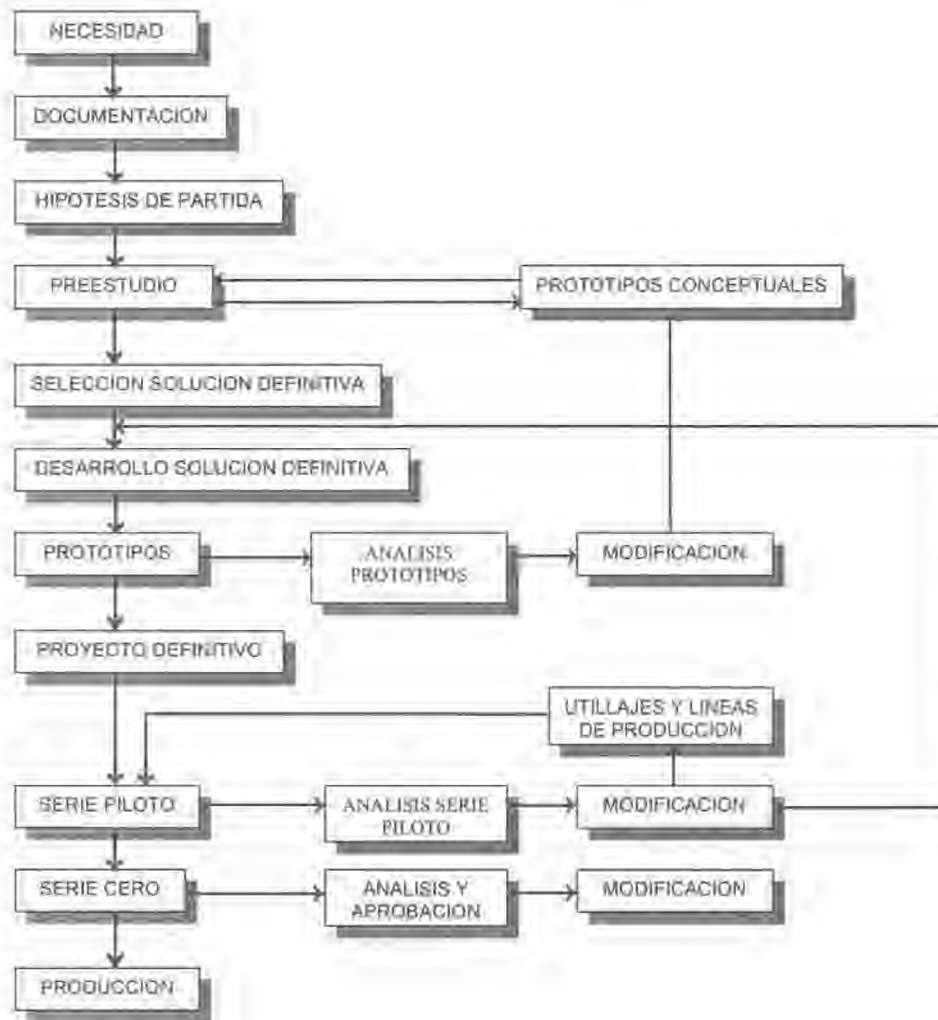
Una vez que el Ingeniero tiene un concepto en mente, la estructura detallada de este dispositivo físico debe ser diseñada para la implementación del concepto. Este proceso resulta usualmente en los dibujos del dispositivo que el Ingeniero cree que aportarán las funciones requeridas,

1.4.3- PROBANDO EL DISEÑO:

1.4.3.1- ANALISIS

El siguiente paso es el de probar el diseño. Esto puede ser hecho mediante la creación de un prototipo físico. Esto casi siempre es costoso y consume mucho tiempo. Por esta razón, los Ingenieros usualmente primero realizan un análisis matemático para identificar los defectos del diseño. Por ejemplo, quizás se realice un análisis de tensiones por elemento finito para determinar si el producto diseñado pueda soportar la carga espera-

FIGURA 1.1 j ESQUEMA DEL DESARROLLO DE UN PRODUCTO



da durante su servicio. Si se encuentran errores a este nivel, el Ingeniero vuelve a la etapa de diseño y modifica al mismo. Después que el análisis del diseño predice que no habrán más problemas, el Ingeniero realiza una prueba física del dispositivo. Para poder realizar esto, un prototipo físico es construido.

1.4.3.2- EL Prototipo Físico:

El Prototipo creado se puede topar con uno o más de los tres requerimientos generales de los prototipos; forma, ajuste y función. Estos requerimientos están descritos en orden jerárquico dependiendo del grado de dificultad.

1.4.3.2.1- Forma:

La forma implica que el prototipo tiene el diseño (forma) general del objeto. Tiene el mismo tamaño y figura, pero su exactitud o precisión no es suficiente para permitir las tolerancias especificadas en el diseño dibujado. Un prototipo que sólo cumpla con esta característica, podrá ser usado para dar una idea a las personas involucradas en el diseño de cómo el producto se verá y se sentirá.

Por ejemplo; El diseño de un estilo nuevo de teléfono pudiera hacer varios prototipos para que las personas de mercadeo puedan sostener el receptor en su oído, toquen los botones y decidir cuál es el mejor diseño que se adapte a sus necesidades.

1.4.32.2- Ajuste:

El ajuste implica que no sólo el prototipo debe tener el tamaño y la forma adecuada, pero también que la precisión sea la suficiente para los requerimientos de diseño realizados.

Por ejemplo; El prototipo que permita los requerimientos de ajuste puede ser usado para chequear que los objetos diseñados se acoplen unos con otros. El ajuste de una tapa en una caja puede ser verificado mediante el uso del prototipo.

1.4.3.2.3- Función o funcionamiento:

La función implica que las propiedades del material son similares a las propiedades esperadas a las del producto de manufactura final.

Por ejemplo; El prototipo de una manguera de plástico debe ser idéntica en flexibilidad al producto final.

1.4.4- PROBANDO EL PROTOTIPO:

Una vez que el prototipo ha sido creado, es probado para determinar donde es aceptable el diseño. Estas no sólo son pruebas mecánicas realizadas por los Ingenieros, sino también pruebas realizadas por las piezas interesadas para determinar la adaptabilidad definitiva y que tan comerciable es el producto en el mercado.

Estas pruebas o tests pueden incluir tests estéticos realizados por el departamento de mercadeo:

¿Se ve costoso?

¿El diseño se acopla bien con sus respectivos componentes?

¿Se siente bien en las manos del usuario?

¿Los colores seleccionados son tan atractivos como se esperaba?

Las pruebas o tests pueden incluir chequeos de ajuste por los Ingenieros o el departamento de servicios:

¿El patrón del tornillo o remache del prototipo de pestaña coincide con los hoyos en el bloque del motor?

¿Puede la pestaña ser ensamblada en el bloque del motor sin remover el radiador?

¿Existe un espacio adecuado para operar la herramienta o llave necesaria en la instalación de la pieza?

Las pruebas podrían incluir tests de funcionamiento:

El prototipo de pestaña ha sido instalado en el bloque del motor el camión que contiene al motor, es puesto a prueba mediante una serie de operaciones, simulando las condiciones más severas esperadas en el tiempo de vida del producto.

La pestaña es colocada en un equipo para probar piezas en la cual es medida la fuerza necesaria para la fractura de la misma.

1.4.5- ITERACIONES:

Usualmente, mientras la pieza está siendo probada, el Ingeniero encuentra problemas o genera mejores ideas para el diseño. Además, después de las pruebas, el proceso de diseño, usualmente requiere más iteraciones. El Ingeniero se dirige de nuevo a la etapa de diseño para modificar al mismo.

Esta secuencia de diseño, análisis, prototipo, pruebas o tests e iteraciones se realizan hasta que el Ingeniero (y otros involucrados en las decisiones) está satisfecho con el diseño. Es importante de reconocer que las etapas de prototipo y pruebas usualmente consumen tiempo y son costosas. Los productos usualmente van hacia el mercado con pocas iteraciones en el diseño simplemente porque los Ingenieros no poseen o disponen del tiempo ni del dinero necesario para el proyecto. Esto puede resultar en productos que no se venden debido a su baja calidad y pobre utilidad. Puede también resultar en lesiones innecesarias debido al mal funcionamiento del producto causado por defectos en el diseño.

La meta del Diseño Rápido de Prototipos (RP), es la de reducir el tiempo y dinero requerido para elaborar un prototipo nuevo, permitiendo la realización de más iteraciones a un diseño en menos tiempo, haciéndolo más seguro y en consecuencia un producto exitoso.

1.5- Prototipado Tradicional

Tradicionalmente, cuando un Ingeniero decide que se necesita un dibujo o diseño de algún prototipo, éste manda los dibujos o diseños de la pieza a una "sala de máquinas" o a una "sala de prototipado". Allí el prototipo es realizado por un personal especializado usando varias de las mismas técnicas utilizadas en la manufactura del producto final. Casi siempre la pieza es maquinada en plástico o metal usando tornos, fresadoras y otras herramientas tradicionales de manufactura.

La "sala de máquinas". Es un lugar de trabajo en el cual el metal y otros materiales o sustancias son cortadas, moldeadas, etc., mediante la utilización de máquinas o herramientas.

La sala tradicional de máquinas usualmente contiene herramientas para cortar y dar forma principalmente a los metales. La sala puede trabajar con cerámicas, plásticos y otros materiales, pero la mayor parte del trabajo se hace con metales. La sala usualmente recibe dibujos o diseños de Ingeniería en conjunto con la orden que puede ir desde 1 a 10.000 piezas. Estas piezas pueden volver a ser prototipadas para un nuevo diseño, pero casi siempre son piezas de la producción actual de un producto manufacturado.

La "sala de prototipos". Ésta es un lugar de trabajo en donde los modelos o prototipos son creados por artesanos calificados.

Una "sala de prototipos" difiere de una de "máquinas" en varios puntos. Primero, la "sala de prototipos" es, usualmente, más general_ Aquí se trabaja con cualquier material que haga el trabajo, incluyendo madera, espuma (foam), fibra de vidrio, barro y plásticos. Además de las herramientas tradicionales de maquinado, también poseen herramientas manuales especiales, equipos para el moldeo y cocción de las cerámicas, máquinas para la inyección de moldes y máquinas para diseñar rápidamente los prototipos (Rapid Prototyping Machines).

Una segunda diferencia, es que la "sala de prototipos" también acepta diseños o dibujos artísticos o conceptuales. En donde la pieza que produce la persona que maneja la máquina, es exactamente especificada por el diseño y el artesano que realiza los prototipos, puede producir un modelo partiendo de una idea. El artesano puede esculpir un modelo en barro de un avión de juguete, realizar un molde RTV (Goma Vulcanizada a Temperatura Ambiente) del modelo y luego producir 20 aviones idénticos de poliuretano del mismo molde.

La "sala de prototipos" usualmente produce moldes de trabajo, los cuales requieren de la realización de múltiples piezas utilizando varias tecnologías. Los modelos o prototipos son usualmente pintados y terminados para que cumplan con las especificaciones del diseñador.

El rango de modelos producidos en una "sala de prototipos" es mucho más amplio que aquel producido por las "salas de máquinas".

1.5.1- EL COSTO DEL PROTOTIPADO TRADICIONAL

La creación de complejos prototipos requiere de mucho tiempo, algunas veces semanas o meses. Este tiempo es costoso en diversas formas. Primero, los arte-

sanos calificados son costosos. Una "sala" típica de modelado, cobra entre 60 y 70 dólares la hora por la construcción del prototipo. Este proceso de producción puede tomar semanas o meses. Segundo, la espera por la finalización del prototipo, extiende el tiempo en el que el producto podría estar saliendo al mercado. Los Ingenieros y Diseñadores están a la espera de que el producto pueda ser construido y probado. Los excesivos tiempos existentes entre la concepción y la realización del producto pueden causar que el encargado de la manufactura, pierda la ventana de oportunidades que posee en esos instantes. Un competidor quizás penetre primero en el mercado o, avances en el mismo campo o terreno pueden aparecer, haciendo que el producto sea obsoleto antes de ser introducido en el mercado.

2.1- Origen de Rapid Prototyping

Como es usual en las invenciones, una inquietud individual fue le propulsora para la industria de RP, la cual ya tiene diez años. Su padre, Charles W. Hull, 58 años, todavía trabaja como un viceejecutivo y jefe en la tecnología de la compañía RP la cual éste ayudó a fundar en 1.986, 3D Systems de Valencia, California. Como ingeniero, Hull siempre se había molestado por el largo tiempo que tomaba la realización en plástico de modelos de prototipos. Éstos tenían que ser maquinados a mano. Si se necesitaba más de uno (generalmente en el caso de la industria) los moldes para realizar prototipos plásticos de uretano debían ser maquinados individualmente.

Las bases en la construcción de un mejor sistema estaban dispersas, lo cual hizo que Hull las uniera. Éste estuvo trabajando para una pequeña compañía de California la cual usaba lámparas ultravioleta para endurecer recubrimientos de plásticos fotosensitivos en vidrio y otros objetos: éste también estuvo presente en el surgimiento de CAD y el láser. Repentinamente Hull vió la posible unión entre los dibujos en 3D de las pantallas a computadora, el reemplazo de la lámpara ultravioleta por el láser y su deseo para producir modelos en plástico transparente los cuales pudiesen ser palpados y visto por todos. "Haciendo que esto estuviese en una máquina práctica vino lentamente", recalca Hull. y requirió de varios años de trabajo al estilo Edison en los cuales éste estuvo tardes y fines de semana probando varias combinaciones de materiales y procesos.

Todos los sistemas de RP&M se basan en la Tecnología de Fabricación por Capas (LMT, Layer Manufacturing Technologies), que consiste a grandes rasgos, en construir una pieza 3D, a base de apilar diversos cortes de la misma en el eje Z. Cada uno de estos cortes o capas, tiene un espesor tan bajo (típicamente del orden de la décima), que puede considerarse que sólo con-

tiene la información 2D de su propio plano. Partiendo del fichero STL, y después de haber orientado y escalado las piezas (en previsión de las contracciones durante y después del proceso), éstas se cortan en capas y se trasladan al sistema de Rapid Prototyping (RP) más conveniente, los cuales podríamos dividir en 3 grupos dependiendo de su finalidad: prototipos conceptuales, formales y de patrón, y funcionales.

2.1.1- PROTOTIPOS CONCEPTUALES:

Las tecnologías para realizar estos prototipos operan normalmente en ambientes de oficina, con polímeros atóxicos. Los resultados obtenidos son de consistencia final muy frágil, obedeciendo a la idea de un trozo de papel para esbozos (en este caso en 3D), que se arruga y tira una vez cumplido su propósito. Los tamaños medios de las piezas realizadas en estos sistemas son pequeños, de 200x200x200 m/m aproximadamente.

2.1.2- PROTOTIPOS FORMALES Y DE PATRÓN:

Son los obtenidos en la mayoría de tecnologías de Rapid Prototyping (RP) pueden ser utilizados para validar formas geométricas, así como para ser utilizados de patrón para la obtención de prototipos funcionales con las técnicas de molde en silicona (RTV), Moldes de Arena (Sand Casting), Investment Casting.

2.1.3- PROTOTIPOS FUNCIONALES:

Son los que permiten realizar los correspondientes montajes de las piezas con todos sus componentes, y la comprobación mecánica de su funcionamiento. Sirven también como visuales y de patrón.

A continuación se presenta el esquema teórico del desarrollo rápido de prototipos:

Antes de desarrollar las tecnologías de Rapid Prototyping (RP), es conveniente hacer una explicación de lo que significa Rapid Tooling, RTV, Investment Casting y Sand Casting.

2.2- Rapid Tooling

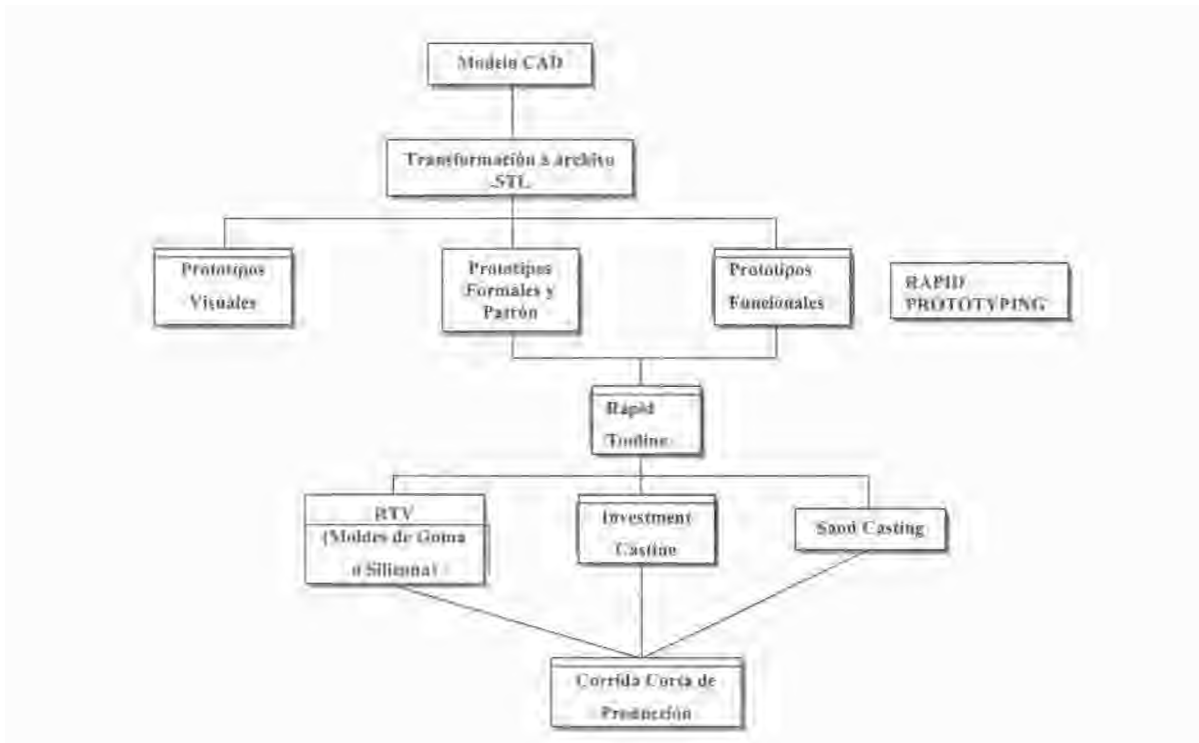
La industria ha tenido conflictos definiendo rapid tooling (RT). En el sentido más amplio, es cualquier me-

todo o tecnología que permita producir o manufacturar piezas rápidamente. Esta descripción está bien para algunos, pero otros creen que carece de significado y deja a las personas con muchas interrogantes. El término Rapid Tooling surge de la tecnología RP y de sus aplicaciones. Consecuentemente muchos de los negocios de RP están de acuerdo que RT significa "RP- Driven Tooling"(Maquinado manejado por RP). Esto significa el usar RP para producir, primero patrones maestros en la realización de moldes, o segundo directamente moldes. Regularmente esto es lo que viene a la mente cuando las personas oyen el término Rapid Tooling. Las compañías que producen moldes rápidamente usando máquinas de control numérico creen que RT incluye CNC, particularmente maquinado a alta velocidad. "Que pienso yo" dice Terry Wohlers. "Bueno, yo prefiero definir RT como digitally-driven tooling (Maquinado manejado digitalmente). Esto incluye los procesos de manejo por RP, como también las máquinas de alta velocidad de Control Numérico", Wohlers Agrega. "Ambos son digitalmente manejados, esta es la llave para hacerlo rápido."

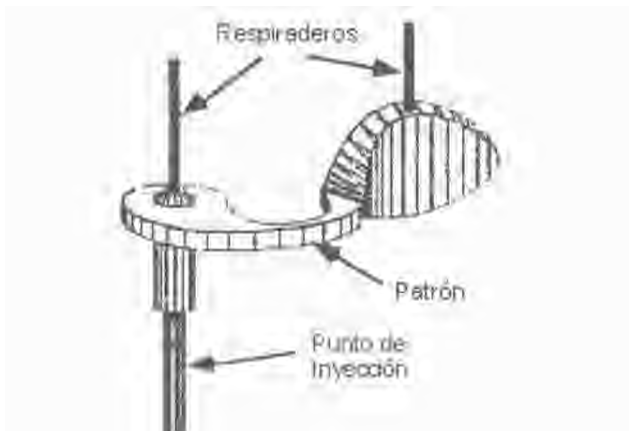
2.3- Soft Tooling o RTV (Room Temperature Vulcanizing Rubbery

Usualmente se requiere más de un prototipo. Las pruebas de Ingeniería quizás requieran la destrucción del prototipo. Quizás sea más conveniente hacer todas las pruebas en un momento determinado. El departamento de mercadeo quizás desee 20 o 30 piezas para mandarlas a sus clientes potenciales. Además también es cierto que el producir múltiples piezas por medio de máquinas es muy costoso. La solución a esto, es casi siempre el moldeado por medio de la goma vulcanizada a temperatura ambiente como el material del molde.

Usando esta técnica, un prototipo inicial es realizado mediante algún proceso (puede ser mediante la utilización de máquinas o por Rapid Prototyping (RP)). Después un forro o envoltura es construido, en el cual se ubicará el molde. Una manguera o bebedero de molde es añadido, por el cual se va a surtir la mezcla al molde y unas vías de ventilación son añadidas para dejar que el aire se escape del molde. El patrón es suspendido dentro del forro o envoltura, usualmente a través de los tubos o mangueras utilizadas para la ventilación o el llenado de la mezcla, y posteriormente, la goma RTV, es mezclada y vertida en la envoltura. En un período corto de tiempo, la goma se vulcaniza y se convierte en un estado sólido pero un poco flexible.



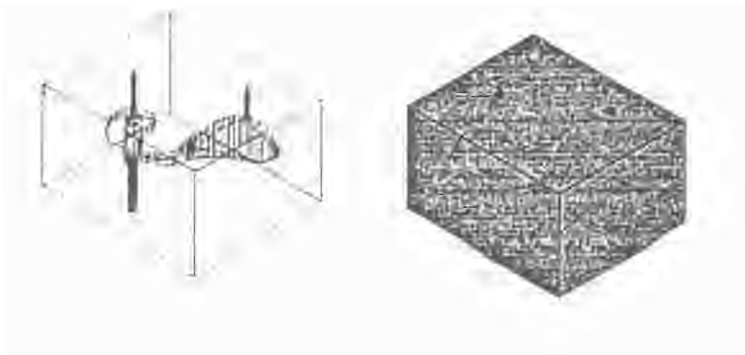
(Figura 2.1) Esquema teórico del desarrollo rápido de prototipos



Una vez que la goma esté lista o curada, el molde RTV es cortado en dos piezas, permitiendo que el patrón, bebedero y mangueras de ventilación sean removidas. Algunas veces, esto se hace después de remover el molde de la base, la cual es posteriormente desechada. O también puede que la base o envoltura, se haga en dos partes, permitiendo que las dos mitades del molde se encuentren permanentemente en la base o envoltura. Esto hace que el molde de goma sea mas firme y duro.

(FIGURA 2.5) MOLDE RTV + PROTOTIPO

(FIGURA 2.3) PROTOTIPO PATRON. (FIGURA 2.4) BASE Y CUBO DE RTV



Después de que el molde ha sido terminado, las dos piezas son fijadas y los componentes de uretano o epoxy son mezclados y vertidos en el molde para crear el prototipo de la pieza deseada.

Estos moldes prácticamente producen por lo menos 25 piezas moldeadas antes de que se degraden significativamente. Estos son capaces de reproducir complejos componentes de manera correcta y a una fracción del costo de múltiples copias a través de máquinas.

¿Por Qué No Hacer El Prototipo Usando El Proceso De Manufactura Deseado?

Las herramientas requeridas para muchos de los procesos de manufactura son muy costosas. Por ejemplo, la producción de un molde de pequeñas dimensiones, podría costar entre 50.000 y 100.000 dólares y se requieren meses para terminarlo. Este molde de alta calidad, podría producir millones de piezas durante su tiempo de vida, pero si el diseño estuviese incorrecto, el molde sería inservible.

Dos soluciones a este dilema son, usualmente, puestas en práctica. La "sala de prototipos" podría producir moldes RTV y emitir piezas de poliuretano o si el cliente requiere idénticas propiedades que los moldes por inyección, la "sala" quizás realice un molde barato de aluminio y moldee la pieza por inyección. Este molde de aluminio es mucho menos costoso que la realización en grandes producciones, debido a que los materiales a utilizar son menos costosos, el metal blando es mucho más rápido para maquinar y otros rasgos encontrados que no toma en cuenta el molde de producción. El molde de Aluminio puede producir cientos o miles de piezas dependiendo del plástico usado y de la geometría del molde.

2.4- Investment Casting

Los procesos de investment casting tradicionalmente comienzan con un patrón de cera. Este patrón es idéntico a la pieza deseada excepto a que ha sido corregida de su encogimiento el cual ocurre durante el proceso de moldeo. El patrón es sumergido repetidamente en un líquido de polvo cerámico, haciendo que se construya un casco sólido de cerámica verde (sin cocer). Luego es puesto en un horno y encendido. En éste, la cera se derrite y se cae del molde con lo que el casco cerámico se sinteriza en un molde duro y de alta temperatura.

Para moldear la pieza metálica el molde de cerámica es usualmente precalentado y luego llenado con metal fundido. Después de que el molde ha sido enfriado y solidificado, la capa cerámica es rota y cualquier exceso de metal es removido. Una ventaja de este proceso es que existen pocas limitaciones en el contorno de la pieza.

Debido a que el molde es destruido cuando la pieza es removida, no existen problemas en la geometría de la pieza asociada con la remoción del molde de la misma.

Mediante la pequeña modificación del proceso tradicional, es posible crear piezas metálicas a partir de patrones de RP. Si el patrón de cera es reemplazado con una pieza RP ésta puede ser convertida en metal. Para que esto sea exitoso, el patrón debe ser quemado o fundido limpiamente y completamente fuera del molde durante su cocción.

También se pueden desarrollar los patrones de cera a partir del RP y no que el mismo RP sirva como sustituto del patrón de cera, de esta forma no se dañaría el prototipo pudiéndose crear una gran cantidad de patrones de cera, de esta forma si se necesitan muchas piezas el proceso es más rápido.

2.4.1- EXPLICACIÓN TÉCNICA DE INVESTMENT CASTING

1. El desarrollo de un modelo para el moldeo de patrones de cera. El metal terminado debe permitir el encogimiento de ambos, el moldeo de cera y posteriormente el de metal. La cera es inyectada bajo presión en el molde a la temperatura de fusión de la cera. Plásticos de poliestireno son también usados, pero requieren de más altas presiones y temperaturas que los moldes de hierro o acero. Los puntos de inyección en el molde deben ser ensamblados separadamente para el moldeo.

Recubrimiento Previo, en donde el arreglo de cera es vertida en un depósito de un material de recubrimiento refractario, un depósito típico consiste de un flúor de silica suspendido en una solución de etil silicato de cierta viscosidad para producir un recubrimiento uniforme después del secado. Después del hundimiento, el ensamblaje es recubierto mediante el rociado de arena de silica y dejando que se seque. Algunas veces el recubrimiento previo no es usado y el patrón de cera es directamente cubierto con el material de moldeo. En este caso, la mezcla de! molde debe ser aspirada para remover las burbujas de aire que se puedan concentrar junto al patrón o en el patrón. El ensamblaje del recubrimiento de cera es luego recubierto por el molde. Esto se hace mediante el vertido del ensamblaje de cera en una mesa, envolviéndolo como un contorno de papel, pero de acero, para crear una caja de moldeo, vertiendo la mezcla en el molde de envoltura alrededor del patrón. El material del molde se deposita por gravedad y se bordea completamente el patrón mientras la mesa de trabajo vibra.

3. El encerado y el precalentamiento, en el cual la cera es derretida fuera del molde endurecido debido al calentamiento del mismo en una posición invertida, la cera

quizás sea recolectada y reusada. Luego el molde es calentado a una temperatura deseable para el vertimiento de una aleación y diseño de moldeado en particular. El quemado y el ciclo de precalentamiento elimina completamente la cera y el gas formado en el molde.

4. Vertido: cuando el molde está a la temperatura deseable el material es vertido por gravedad en el bebedero del molde. Presión de aire quizás sea aplicada luego a este bebedero para asegurarse del llenado en las cavidades del molde. Este vertido también es realizado en una centrífuga para llenar finas secciones.

5. Operaciones de Limpieza se realizan después del enfriamiento del molde.

2.5- Sand Casting

Es el tradicional proceso de moldeado por un bloque de arena, donde el proceso consiste en colocar una pieza en un bloque de arena previamente compactado y forzando a la pieza a encajar para después terminar de formar con la arena un molde duro y compactado, después se saca la pieza que ha servido de macho para hacer el patrón y se vacía el molde con el metal requerido y de esta forma se obtiene la pieza metálica. Este proceso es mucho menos preciso que el de Investment Casting, pero su realización es menos compleja y costosa. A continuación se muestra un cuadro comparativo entre ambas técnicas.

(FIGURA 2.7) Cuadro comparativo entre Sand Casting e Investment Casting

| Aspectos | Sand Casting | Investment Casting |
|-----------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Materiales RP | Fotopolímero (SLA) Polycarbonato (SLS) | Fotopolímero (SLA) Investment Wax (SLS) |
| Escogencia de Metales | Amplia | Amplia, incluyendo la dificultad para forjar y maquinar aleaciones |
| Complejidad | Moderada | Alta |
| Sección Mínima | 3/32 de pulgada | 0.01 pulgadas |
| Tolerancias | 1/16 a 1/8 pulg./pie | 0.005 pulg./pie |
| Suavidad Superficial | 250-300 micropulgadas | 90-125 micropulgadas |
| Costo de Maquinado | Bajo | Moderado |
| Costo de M.O.D. | Alto | Muy Alto |
| Costos de Acabado | Alto | Bajo |

Tecnologías del Diseño Rápido de Prototipos (RP)

Aquí serán introducidas una serie de tecnologías que permiten la producción automática de prototipos de piezas directamente de un modelo sólido. Todas éstas son sistemas comerciales, los cuales están disponibles en el mercado actual. A excepción de la tecnología BPM (Ballistic Particle Manufacturing), ya que su fábrica salió del mercado en el transcurso del presente año.

3.1- Estereolitografía

La implementación de Estereolitografía por 3D Systems fue el primer sistema de RP comercialmente introducido y todavía es el líder del mercado. Un sistema esquemático del proceso de producción del prototipo es mostrado a continuación.

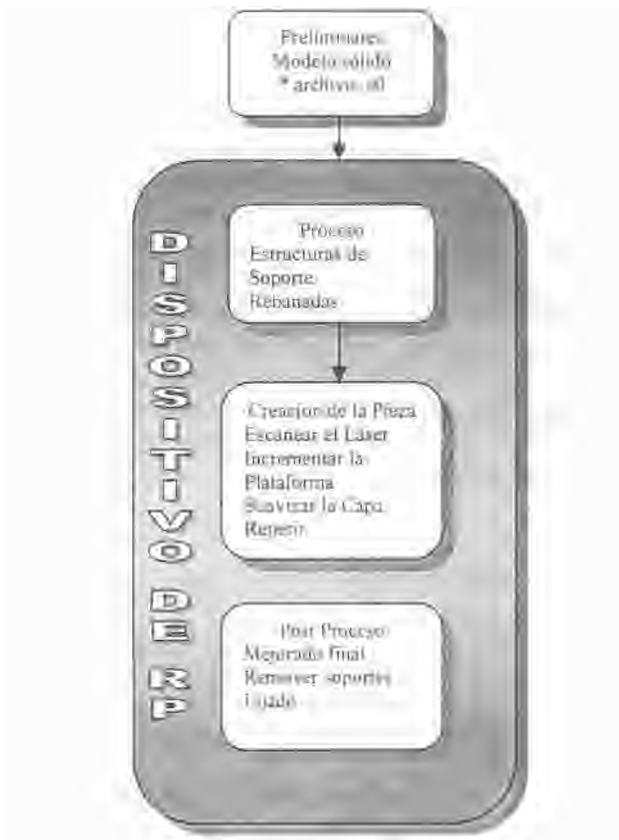
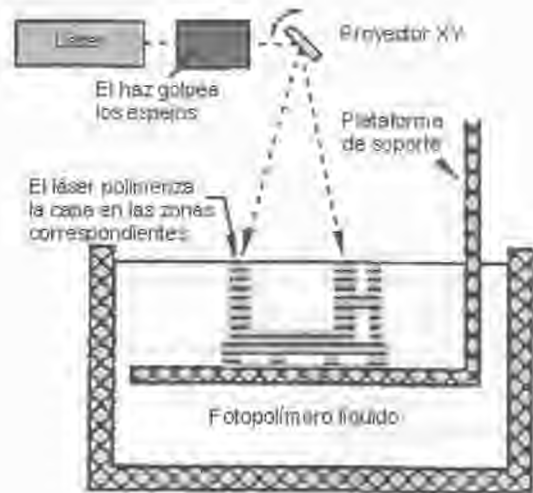


FIGURA 3.1) ESQUEMA DEL PROCESO DE PRODUCCION DE POS

Primero, un modelo sólido electrónico de la pieza es creado usando software CAD. Existe una gran variedad de modelado de sólidos por medio del software de CAD, Cada uno usando archivos de formato diferente para representar la pieza. Para asegurarse que sus máquinas fuesen compatibles con todos estos softwares, 3D Systems formuló un archivo de formato estándar de estereolitografía (* .STL) y lo distribuyo de forma masiva. Por esta razón la mayoría de los softwares de CAD que tienen la capacidad para crear modelos sólidos también tienen la capacidad de convertir estos modelos en formato * .stl.

Después que el modelo sólido es creado se guarda en el formato *.stl y de esta manera es introducido en el sistema de Estereolitografía. El sistema de Estereolitografía crea el prototipo mediante la acumulación de una serie de capas formadas por secciones 2D. El sistema del software genera una serie de cortes en secciones paralelas colocadas a una distancia equivalente al grueso deseado en cada capa. La máquina usa una plataforma movable suspendida en una batea de fotopolimero líquido.



(FIGURA 3.2) GRÁFICO DEL PROCESO DE ESTEREOGRAFIA

El fotopolímero es un líquido relativamente de baja viscosidad hasta que es expuesto a la luz ultravioleta. La luz ultravioleta hace que las moléculas del fotopolímero se polimericen, uniéndose todas para formar una red. El resultado final es que el líquido se transforma en un sólido. El rayo proveniente del láser ultravioleta puede ser dirigido a la batea por un sistema de espejos el cual es controlado mediante un computador.

Para crear una pieza la plataforma movable es colocada justo por debajo de la capa de líquido de fotopolímero, permitiendo solamente una fina capa (desde .004 pulgadas hasta .006 pulgadas) de líquido sobrante por encima de la plataforma. La energía del láser, enfocada en un espectro muy fino, es proyectada en la superficie del fotopolímero, trazando los bordes a partir del fondo de la pieza. El área sólida de la sección cortada debe ser trabajada por el rayo haciendo que la superficie completa del sólido sea completada cuando se completa la proyección, la plataforma movable basa en el grosor de la capa siguiente. Un mecanismo de frotado es usado para asegurarse de que el líquido de polímero fluya por encima de la superficie en un grosor uniforme controlado. Una vez que el líquido en la superficie de la capa ha sido colocado en un grosor uniforme, el próximo corte de sección es proyectado por el láser. Este proceso es repetido hasta que cada corte de sección ha sido proyectado. Luego la plataforma sube y el prototipo sólido es removido de la batea.

Mientras el láser proyecta los cortes de las secciones, éste pasa sobre áreas donde se encuentra una capa de polímero sólido justo por debajo de la capa de líquido y proyecta las áreas donde solamente existe líquido por debajo de la superficie. Cuando una capa sólida existe directamente debajo de una capa líquida, las dos capas adyacentes son apiladas mientras la capa de superficie se polimeriza uniéndose con la capa del nivel más bajo. Cuando solamente existe líquido por debajo de la capa anterior, la intensidad del rayo debe ser controlada cuidadosamente para asegurarse de que el polímero es solamente en el espesor deseado.

Típicamente las partes no salen del tanque completamente perfectas. Después de removerlas del tanque, el exceso de foto polímero es removido mediante el sumergido de la pieza en un baño de solvente, después la parte es perfeccionada en un horno o mediante la exposición en una lámpara de rayos ultravioleta. Las estructuras de soporte son ahora removidas y la parte es lijada para el acabado de la superficie.

3.1.1- PROBLEMAS CON LOS SOBRESALIENTES

Una de las dificultades que ocurren en el uso de la técnica de 3D systems resulta del hecho que la parte sólida se apoya o descansa en un baño líquido mediante su construcción. A medida que los cortes de las secciones cambian, finas capas de polímeros solidificados pueden estar flotando en la superficie del líquido. Si la pieza no tiene una superficie plana, tendrá que ser construida comenzando de una superficie curva. Esto no será muy estable. Además es necesario crear estructuras de soporte que aguanten las partes laterales sobresalientes en su lugar mediante el proceso de construcción de la pieza.

3.1.2- APLICACIONES

Piezas usadas para pruebas funcionales.

Pruebas para pre-series de producción.

- Manufactura de modelos para medicina.
- Forma, ajuste y función para pruebas de ensamblaje.

3.1.3- VENTAJAS

• El sistema de Estereolitografía de 3D systems es el líder en el mercado de RP hoy en día. Como resultado este proceso está más disponible que algunos de los pro-

cesos de la competencia ya que fue el primer sistema introducido, tiene más años de desarrollo.

- El sistema basado en fotopolímero produce partes de plástico las cuales poseen excelentes propiedades mecánicas. Las partes no son porosas, éstas pueden ser lijadas o taladradas. Las propiedades mecánicas medidas se aproximan a aquellas partes plásticas realizadas por tecnologías de manufactura convencional.

- Produce prototipos de gran precisión (0.002 mm de grosor de capa).

- Posibilidad de la manufactura de piezas las cuales serían imposibles de producir convencionalmente en un sólo proceso.

- Puede operarse continuamente sin atención por 24 horas.

Cualquier forma geométrica puede ser realizada virtualmente sin limitación.

3.1.4- DESVENTAJAS

- Necesita secuencias sofisticadas de proceso.

- Necesidad de tener estructuras de soporte.

- La precisión no se encuentra en el rango para la manufactura de piezas mecánicas.

- Áreas restringidas de aplicación debido a las propiedades de los materiales.

- Requiere mano de obra para el postprocesado y para una limpieza especial.

3.1.5- SISTEMAS DISPONIBLES

3D Systems. USA: SLA 190, 250, 350, 400, 500.

- CMET . Mitsubishi, Japan: SOUP 600, 850.

- D-MEC, JSR/Sony, Japan: SCS 1000 HD.

- Electro Optical Systems, Germany: Stereos 400, 600.

Fockele & Schwarze, Germany: Laser Modeling System.

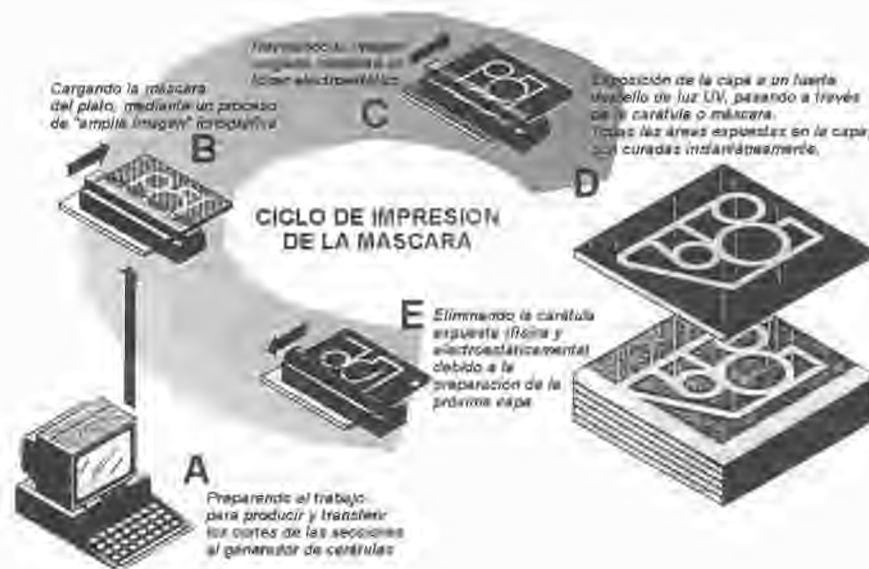
- Mitsui, Japan: Colamn.

- Teijin Seiki Co. Japan: Soliform 300, 500.

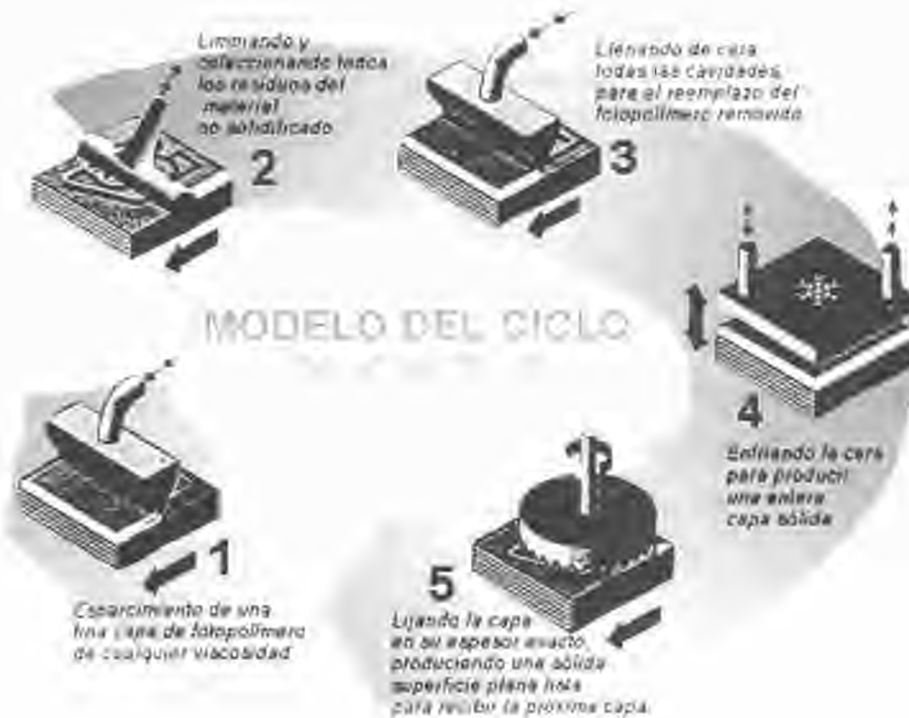
3.2- Solid Ground Curing (SGC)

3D Systems tiene varios competidores en los cuales sus procesos son parecidos a los de Estereolitografía descritos anteriormente. Una notable excepción es el sis-

tema "Solider" de Cubital. Este sistema usa cera, además del fotopolimero para proveer un soporte sólido completo para las capas de plástico durante su construcción. El proceso "Solider" sigue el esquema que se muestra a



(FIGURA 3.4) CICLO DE IMPRESION DE LA MASCARA



(FIGURA 3.5) CICLO DE CULTIVO

La operación del sistema comienza con la creación de un modelo sólido como el descrito anteriormente en la máquina de SLA. El modelo sólido es de nuevo cortado o rebanado en secciones, pero en este punto las técnicas difieren. El sistema Cubital genera una fotomáscara de cada sección y quema el fotorolímico utilizando una lámpara de rayos ultravioleta. Además la sección completa es expuesta de una sola vez. El curado de la sección completa en un sólo paso, tiene dos potenciales ventajas. Primero, es potencialmente más rápida, ya que el volumen interior de la pieza no tiene que ser trabajado como ocurre en las máquinas que utilizan láser. Segundo, mientras la máquina de Estereolitografía (SLA) cura el volumen interior en líneas con el láser, SGC provee una cura más uniforme.

Después de que la capa es curada, las porciones de líquido que no están curadas son limpiadas o desechadas y reemplazadas por una mezcla de cera. Una vez que la cera se ha solidificado, la superficie de la capa es lijada de forma plana a un espesor preciso, luego una nueva capa de fotorolímico líquido es vertida en la parte superior y después de esto el proceso se repite. Cuando todas las capas han sido creadas, la cera se elimina quedando la pieza terminada.

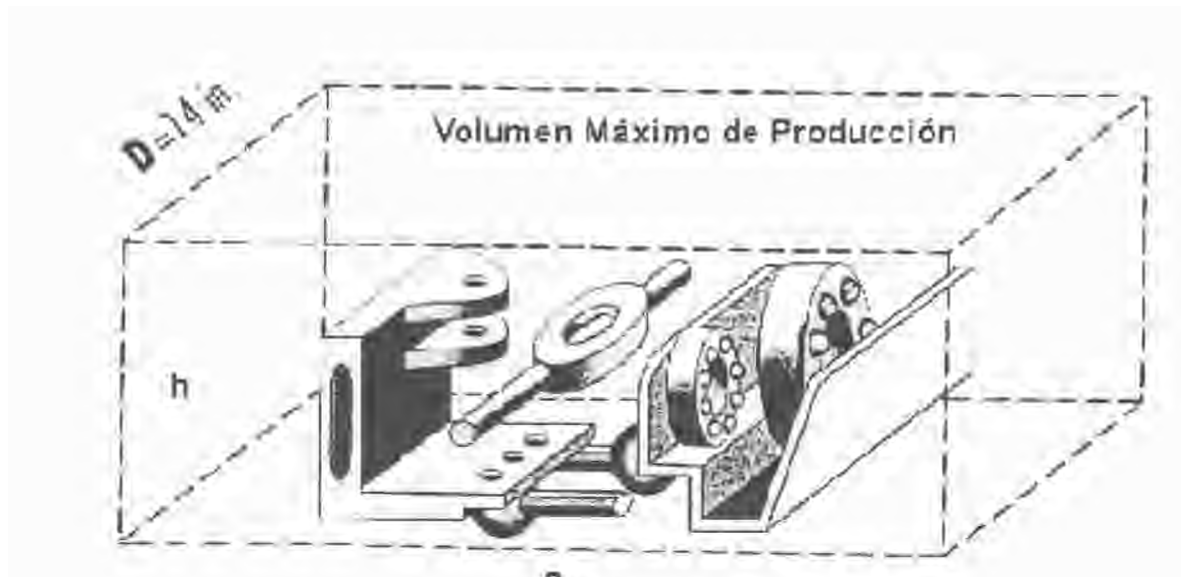
3.2. APLICACIONES

- Estos prototipos pueden ser usados como patrones para "Sandcasting".
- El prototipo realizado puede ser usado como patrón para el moldeo RTV o "Soft Tooling".
- El prototipo producido utilizando el método SGC podrá pasar a ser un molde para ceras o para piezas de plástico fundido.

3.2.2- VENTAJAS

- Cuando el proceso está completado el prototipo de plástico está contenido dentro de una capa de cera sólida. La combinación del soporte proveído por la cera y el prensado de cada capa resultan en partes precisas sin la necesidad de estructuras de soporte externo. Una ventaja adicional de las sólidas estructuras de soporte es que el sistema "Solider", que es el nombre de las máquinas manufacturadas por Cubital puede agrupar las piezas en tres dimensiones mejorando la eficiencia de la máquina.

FIGURA 3.6) PROTOTIPOS GENERADOS EN UNA SOLA CORRIDA



- Alta uniformidad en la precisión de las piezas.
- Rápida y eficiente en costo para fabricar piezas complejas, de paredes gruesas y voluminosas.
- Usa dispositivos de luz ultravioleta (no hay láser que reemplazar),

La habilidad para crear piezas agrupadas permite al sistema "Solide" producir más piezas durante la corrida de producción (para el mismo volumen de trabajo) que sería posible si cada parte fuese requerida para apoyarse o descansar en la plataforma de construcción.

- Después de que el prototipo ha sido completado puede ser prensado, taladrado, lijado o pintado.

Complejas Estructuras curvas no requieren soporte y además no requieren que se remuevan las estructuras de soporte ni tampoco el lijado para remover los defectos dejados por los soportes.

- Debido al más completo curetaje de cada capa durante el proceso de construcción, las piezas de SGC tienen una tendencia reducida a encojarse o distorsionarse.

- Grandes superficies planas pueden ser creadas fácilmente.

- Los procesos SGC son capaces de realizar piezas muy complejas.

3.2.3- DESVENTAJAS

- Piezas un poco bastas.
- Es el dispositivo más caro y el de mayor tamaño.
- Es muy complejo de manejar, necesita de gran preparación y aprendizaje de personal

3.2.4- SISTEMAS DISPONIBLES

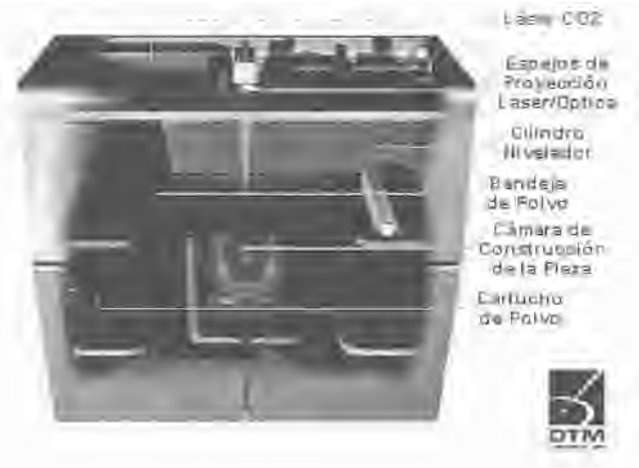
- Cubital, Israel: Solider 4600, solidar 5600.

3.3- Selective Laser Sintering (SLS)

El método de SLS tiene un concepto similar al de reemplazando el fotopolímero líquido con un polvo fundible en caliente. Así como en Estereolitografía el prototipo es construido por una secuencia de secciones creadas por capas de la pieza generada en un modelo sólido de CAD, en este caso la pla-

taforma móvil va bajando y es cubierta con unas nuevas capas de polvo en vez de polímero líquido, el esquema de SLS es enseñado abajo.

The Sinterstation 2500 System Process Chamber



(FIGURA 3.7) GRAFICO DEL PROCESO DE SLS

Primero, una fina capa de polvo es depositada en la plataforma de construcción dentro de un volumen cilíndrico de construcción. Luego, el computador controla el láser proyectando las secciones de la primera capa en la superficie del polvo. La velocidad de proyección y la fuerza del láser son ajustadas para que la energía del láser aumente la temperatura del polvo justo al punto de fusión hasta unir las partículas. Después de que el láser ha proyectado las capas, una sección sólida es proyectada en el polvo. El polvo adicional es proveído por unas reservas y una rueda distribuye una nueva capa de polvo. Este proceso es repetido capa por capa, hasta que la pieza es completada. Finalmente la plataforma es levantada, el polvo sobrante es desechado de la pieza y el proceso es completado. El resultado de las piezas es poroso y tienen una superficie de acabado ordinario.

Para evadir problemas serios de combado, la cámara de construcción es mantenida a altas temperaturas. A estas temperaturas, el polvo es combustible. Por esto es necesario purgarla máquina con Nitrógeno para crear una atmósfera inerte.

3.3.1- APLICACIONES

Modelos de Representación Visuales.

- Prototipos fuertes y funcionales.

- Para crear moldes metálicos (mediante el uso de cera).

Corridas cortas y Soft Tooling.

3.3.2- VENTAJAS

- Una ventaja del proceso SLS es que permite el uso de cualquier polvo que sea capaz de fundirse. Además, diferentes polímeros son comúnmente usados, así como las ceras, policarbonato, PVC, nylon y virtualmente cualquier material cuya viscosidad disminuya por efecto del calor. Grandes esfuerzos han sido realizados para usar metales y cerámicas en polvo. Otra ventaja resulta del hecho que el polvo sin sinterizar en cada capa provee un soporte para la pieza que está siendo realizada. Por esto el soporte no es tan rígido y seguro como el de cera usado por el sistema Cubital, ya que las piezas de SLS son usualmente construidas sin ninguna estructura de soporte.

- Es la tecnología que mejor se acopla a las aplicaciones de manufactura.

Las piezas fabricadas con esta tecnología no necesitan de etapas de postcurado, a menos que se trabaje con cerámicas.

Producir de polvo a pieza, se lleva generalmente un sólo día de proceso.

- Su avanzado software permite el corte concurrente del modelo sólido mientras se realiza el procesamiento del objeto.

3.3.3- DESVENTAJAS

Durante la solidificación, puede ocurrir que en el contorno se endurezca polvo adicional. Esto resulta en una apariencia basta en la superficie de la pieza.

La Necesidad de proveer una atmósfera inerte continua de Nitrógeno para asegurar la sinterización del material.

- Los gases tóxicos emitidos en el proceso de fusión deben ser manejados cuidadosamente (especialmente para PVC).

La rugosidad es más visible cuando las piezas contienen superficies de pendientes graduales y por esto, el efecto de escalera es creado capa por capa en el proceso.

3.3.4- SISTEMAS DISPONIBLES

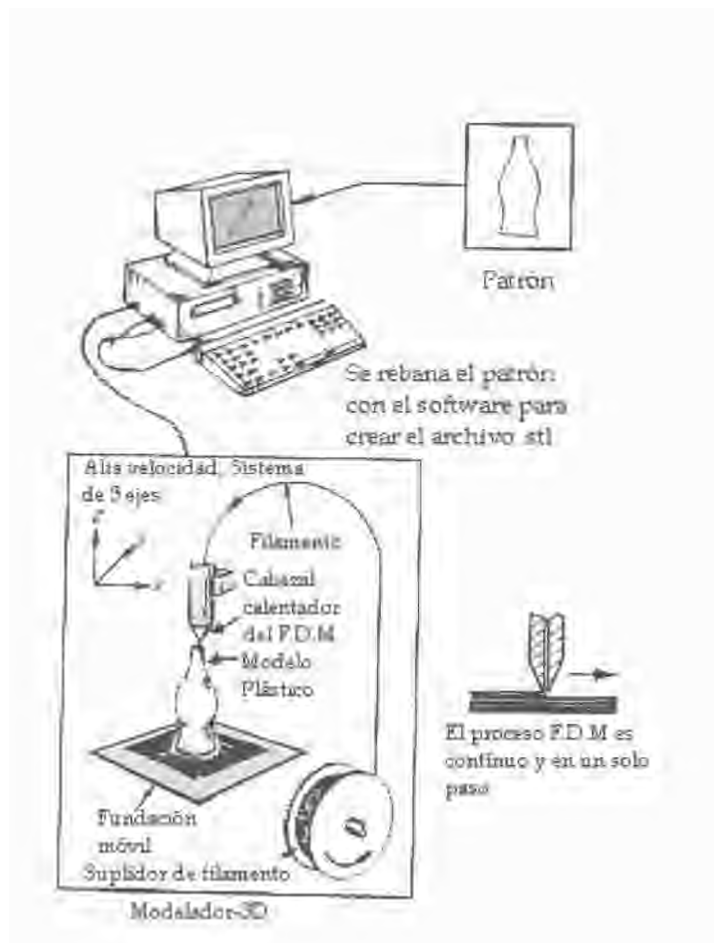
- DTM Corp., USA: Sinterstation 2000 , Sinterstation 2500

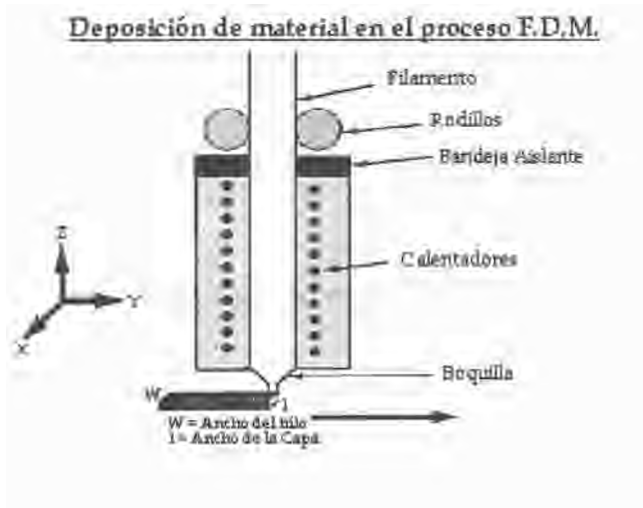
- EOS, Germany: Eosint Plastic, Metal, Sand.

3.5- Fused Deposition Modeling (FDM)

FDM usa un cabezal extrusor el cual puede ser posicionado en las direcciones X,Y,Z para extruir un fino hilo de polímero termoplástico. El cabezal extrusor "dibuja" la área sólida de cada sección, dejando un fino rastro de plástico que instantáneamente se solidifica. Este fino rastro (tan pequeño como 0.002" de grosor por 0.01" de ancho) mientras está siendo extruido, se apila al plástico de la capa inferior.

Siguiendo con la técnica, resulta muy similar a los sistemas descritos anteriormente, la pieza es descompuesta en capas y el cabezal extrusor dibuja una capa a la vez, construyendo la pieza desde el fondo hasta la parte superior.

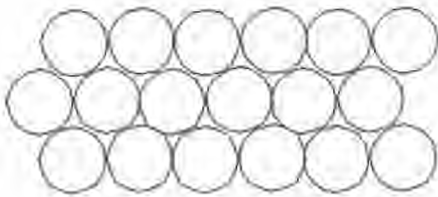




(FIGURA 3.11) DEPOSICIÓN DE MATERIAL EN EL PROCESO FDM

El fino hilo extruido tiene un cierto espesor y si este hilo pasa arriba de otro, el grosor total será duplicado. Esto tiene importantes consecuencias: cuando el cabezal extrusor está dibujando una capa, ninguna de las líneas se deberán solapar o intersectar.

Esta falta de intersección resulta en capas que no son realmente superficies sólidas sino largos hilos continuos formando cada una de las capas. De manera de formar una pieza sólida el recorrido o el paso del extrusor varía entre capa. Esto permite que entre los hilos de las capas adyacentes se coloque un hilo sobre otros dos, evitando los espacios intersticiales en el modelo, cerrando la pieza en una estructura sólida. En forma de que el hilo de polímero permanezca exactamente donde fue extruido es importante que se solidifique apenas sale de la cabeza extrusora. Para que esto ocurra el cabezal extrusor es controlado por un grado sobre la temperatura de fusión del polímero.



(FIGURA 3.12) ESQUEMA DE COLOCACIÓN DE LAS CAPAS

A pesar de todo el termoplástico se solidifica inmediatamente, no es práctico la extrusión de una capa

en voladizo sin soporte afuera en el espacio. Por esta razón el proceso FDM usa estructuras de soporte como las discutidas en la Estereolitografía.

Este sistema usa un segundo cabezal para extruir una sencilla capa de material entre la pieza y la estructura de soporte. Las bajas propiedades mecánicas de este nuevo material permite que el soporte pueda ser fácilmente removido sin dañar la superficie de la pieza. Como lo observado en los otros proceso de RP, FDM es capaz de producir un amplio rango de piezas.

También el material de construcción es usualmente termoplástico. Las propiedades materiales de la pieza no son tan altas como la que esto implica. Esto es debido al resultado de la técnica de construcción. El hilo de polímero del cabezal extrusor se coloca con el polímero en la capa inferior, pero no se acopla tan bien con los hilos de polímeros laterales. En efecto la parte es usualmente porosa, con pequeñas grietas entre los hilos de los polímeros.

3.5.1- APLICACIONES

- Prototipos visuales.
- Aplicaciones y modelos de forma, ajuste y función para posteriores procesos de manufactura.
- Modelos para Investment Casting y para moldeo de inyección.
- Los ingenieros de diseño y manufactura usan los sistemas Stratasys como componentes periféricos de los sistemas de CAD, en un amplio espectro de aplicaciones, a través de muchas industrias. Cualquier industria que manufacture un producto tangible se puede beneficiar de esta tecnología. Las industrias que han incorporado RP y el modelado en sus ciclos de desarrollo de productos, incluyen las automovilísticas, las aeroespaciales, las consumidoras de producto, electrónicas, médicas y otras.

3.5.2- VENTAJAS

- FDM, el cual es implementado por Stratasys, se asemeja más a la máquina de copiado en 3D, conocidos como "3D printers" que a los sistemas discutidos previamente, en que es mucho más práctico para el ambiente de oficina. Es una unidad conveniente de escritorio.
- El polímero termoplástico no posee problemas de seguridad.
- No existen químicos nocivos, entre otros.

- El sistema no requiere un láser, lo cual reduce el costo del mismo y provee seguridad y confiabilidad.
- Puede producir prototipos funcionales de ABS.
- Creación rápida y económica de piezas.
- Puede producir grandes piezas.
- El sistema no desecha material durante o después de la producción del modelo y por lo tanto, no requiere limpieza posterior.
- Los materiales pueden ser cambiados rápidamente.

3.5.3- DESVENTAJAS

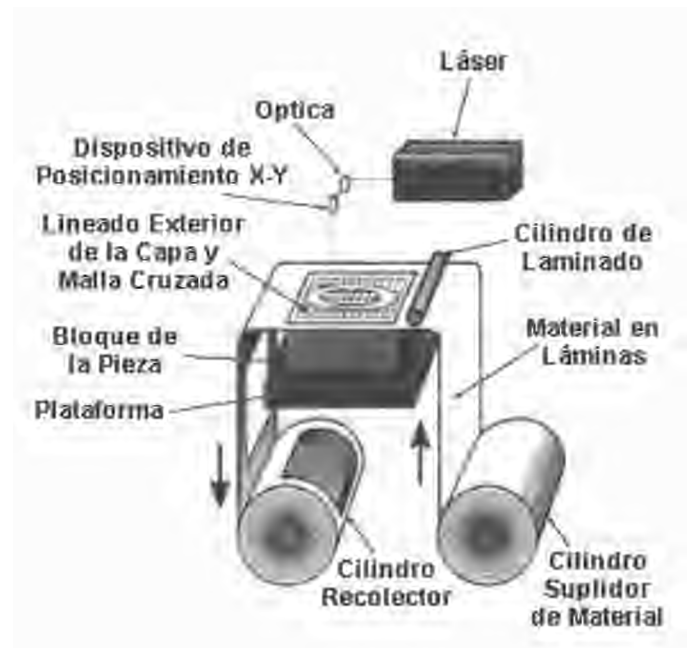
- Precisión restringida debido a la forma del material utilizado: un hilo de 0,05 pulgadas de diámetro.

3.5.4- SISTEMAS DISPONIBLES

- Stratasys, USA: 3-D Modeller, FDM 1650, FDM 2000, FDM 8000, Genisys.

3.4- Laminated Object Manufacturing (LOM)

Este proceso es el opuesto a los conceptos manejados anteriormente. Cada uno de los procesos anteriormente señalados construyen una pieza mediante la adición de material a la misma. Fotopolimeros sin curar o polvo sin sinterizar puede ser reciclado para el siguiente prototipo. Usando LOM las secciones son cortadas de finas hojas de materiales de construcción, produciendo sobras que no pueden ser reutilizadas. Un esquema de este proceso se muestra a continuación:



(FIGURA 3.8) GRÁFICO DEL PROCESO DE LOM

Aquí un rollo continuo de material de construcción es indexado a una mesa de construcción. Cada capa es colocada sobre la capa anterior por un cilindro de laminación. Una vez que la capa ha sido colocada, la parte de la sección es cortada mediante el láser. Se hace notar que el láser solamente se requiere para el corte del borde de la pieza, lo cual hace el proceso potencialmente mucho más rápido que los procesos donde se utiliza el láser para fabricar toda la pieza, en los cuales se debe proyectar la superficie completa del sólido.

Mientras cada capa es colocada en la parte posterior, ambas, la parte de la sección y el contorno del volumen construido, son cortados del rollo de material. Como resultado, cuando la parte es completada, ésta se encuentra en un bloque sólido de material de construcción. Para solucionar este problema, las líneas del contorno externo son cortadas para que el exceso de material pueda ser removido.

El material de desecho en las secciones huecas interiores es solucionado mediante el trabajado de estas áreas para crear pequeñas partículas que puedan ser removidas. El material de construcción comúnmente usado en LOM es papel de construcción ordinario. El adhesivo es el fino delineado de plástico usado para proteger el papel a prueba de agua. En este caso, el cilindro de laminado calienta el papel colocando las capas derritiendo el plástico. El adhesivo es un termoplástico (el cual se funde cuando se calienta) y se cura a un estado rígido. Esto resulta en prototipos que poseen una textura y propiedades muy similares a la madera.

Materiales alternativos han sido investigados incluyendo el plástico y películas metálicas, y finas hojas con propiedades cerámicas/polímeros son fundidas, las cuales pueden ser calentadas en un horno después de su construcción, resultando en una pieza de cerámica de alta resistencia.

3.4.1- APLICACIONES

- Moldeado por Inyección (1ª Pieza; Forma, Ajuste y Función).

- Moldes de Silicón (Para moldeado o Maquinado Secundario).

Investment Casting (Herramientas y Moldes Indirectos de Cera, Pérdida Directa de Papel).

- Sand Casting Tooling (Impresión de Patrones en Arena).

- Modelos Artísticos {Esculturas, Bustos, Arte Moderno y Réplicas}.

- Mobiliario (Modelos en Escala Metal/Madera, Oficina y Casa).

Modelos Arquitectónicos en Escala (Iglesias, Librerías, Altas Elevaciones, etc).

Moldes y Molduras Realizadas ala Medida al Estilo Colonial/Victoriano (Restauración).

- Mercado (Todas las Industrias, Aumentar el Valor de Presentaciones al Cliente).

- Medicina (Modelos de CAT, MRI, X-Ray; Huesos y Organos).

- Prótesis (Miembros y Uniones Artificiales).

- Dental (Reconstrucciones, Réplicas Dentales a Partir de Rayos-X).

Paleontología (Crear y Usar Archivos de Huesos en 3D Para Moldes de Silicón).

- Cemento/Concreto (Formas, Moldes).

3.4.2- VENTAJAS

- LOM es otra técnica la cual no requiere de la creación de estructuras de soporte. Cuando la pieza es terminada, ésta se encuentra esencialmente encerrada en un bloque de madera. Actualmente el operador de LOM posee un poco de dificultad al remover el material de desecho de paredes delgadas de la estructura y los interiores

de las estructuras huecas. El volumen de construcción de las máquinas más grandes de Helisys, da como resultado una de las más grandes capacidades en cuanto a dimensiones de las actuales máquinas comerciales.

Fácil reemplazamiento del papel, plástico y materiales compuestos .

Tabla X.Y mejorada con alta precisión en el mecanismo de posicionamiento.

Un buen valor por pulgada cúbica del área de construcción.

- El proceso es mucho más rápido que las técnicas de los demás fabricantes.

- El proceso no produce virtualmente esfuerzos internos ni deformaciones.

3.4.3- DESVENTAJAS

- La estabilidad de los objetos está limitada por la fuerza de apilamiento de las capas pegadas.

- Como el proceso no se adapta bien para la manufactura de piezas con finas paredes en la dirección "z", entonces, el rango de aplicación es aproximadamente restringido para las piezas complejas.

- Piezas huecas, como las botellas no pueden ser construidas.

3.4.4 SISTEMAS DISPONIBLES

- Helisys, USA: LOM 1015, 2030.

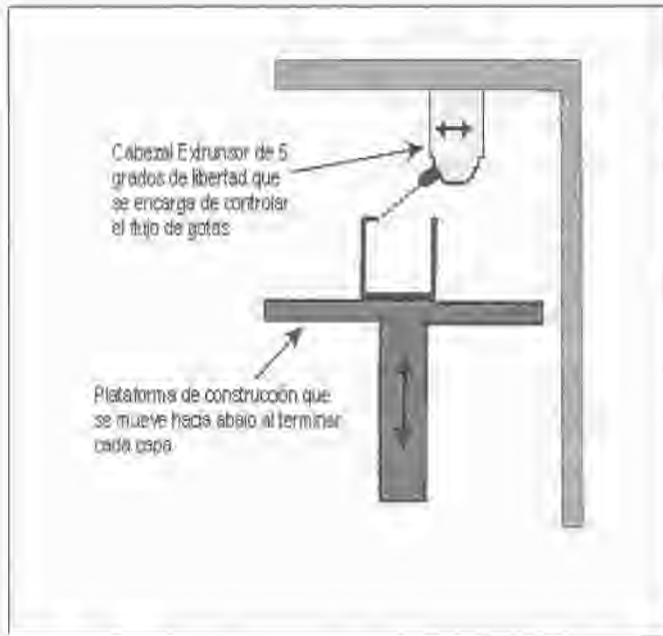
PARTICLE MANUFACTURING (BPM)

3.5-BALLISTIC

Esta técnica penetró en el mercado en 1995. La máquina es producida por BPM technologies Inc. que es similar a las máquinas de Sanders en el sentido de que ambas máquinas depositan pequeñas gotas de líquido plástico que se solidifican cuando chocan contra una superficie. La única diferencia de la máquina BPM es que el cabezal de inyección de tinta no solamente se mueve en las direcciones X, Y, Z con respecto a la plataforma de construcción, sino también en ángulos controlados en los cuales las pequeñas gotas son lanzadas a un objetivo.

Esta técnica penetró en el mercado en 1995. La máquina es producida por BPM technologies Inc. que es similar a las máquinas de Sanders en el sentido de que ambas máquinas depositan pequeñas gotas de líquido plástico que se solidifican cuando chocan contra una su-

perficie. La única diferencia de la máquina BPM es que el cabezal de inyección de tinta no solamente se mueve en las direcciones X, Y, Z con respecto a la plataforma de construcción, sino también en ángulos controlados en los cuales las pequeñas gotas son lanzadas a un objetivo.



(FIGURA 3.16) GRAFICO DEL PROCESO DE BPM

BEM usa estructuras de soporte, pero éstas son realizadas por el mismo termoplástico usado para la pieza (La máquina BPM tiene un sólo cabezal de inyección de tinta. Las pequeñas gotas son depositadas en una forma que los puntos de contacto entre la pieza y el soporte son perforados para un fácil desprendimiento.

3.5.1- APLICACIONES

-El termoplástico puede ser usado como la cera en Investment Casting.

3.5.2- VENTAJAS

El bajo costo.

- El Personal Modeler", que es el nombre de la máquina que comercializa la compañía está listado en el rango de los \$30,000 a los \$35,000 lo cual es significativamente menor que cualquiera de los fabricantes mencionados anteriormente.

- Similar a la técnica FDM, la máquina BEM es compatible en un ambiente de oficina.

- El material no es tóxico.

3.5.3- DESVENTAJAS

-La máquina es lenta.

,El acabado superficial es basto.

3.5.4- SISTEMAS DISPONIBLES

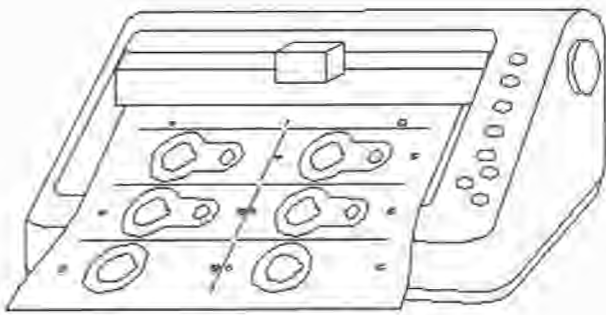
•BPM Technology, Inc. USA: BEM.

3.6- JP Systems 5

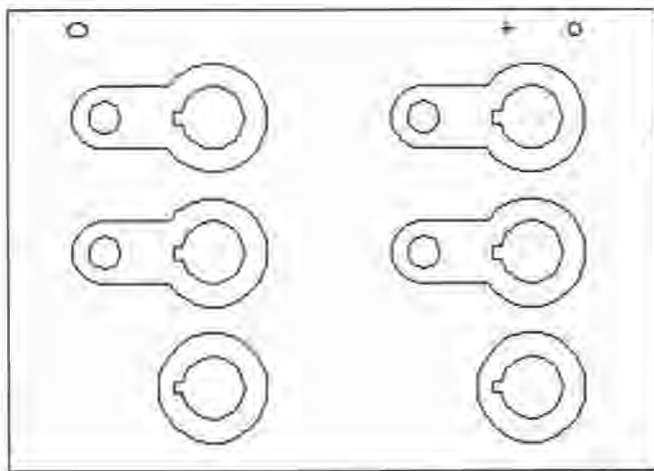
El sistema JP 5 es un dispositivo poco costoso de que crea modelos físicos de modelos 3D electrónicos de CAD. El sistema JP 5 opera bajo los mismos principios generales que los procesos descritos anteriormente, cortando el modelo en varias capas y construyendo la pieza mediante la creación y ensamblaje de capas. Cuando se usa el sistema JP 5, primero un modelo sólido es convertido a un archivo de Estereolitografía El archivo *.STL es importado en el software del sistema donde es proyectado, orientado y cortado. Luego cada sección es cortada de una hoja de material de construcción (usualmente papel). Usando un plotter común y corriente. Las secciones son registradas y laminadas en conjunto manualmente formando el modelo físico.

Una diferencia fundamental con respecto a los otros métodos es el uso del método de apilado secuencial de capas. El sistema JP 5 crea primero todas las capas y luego apila las mismas en un proceso completamente por separado. Esto y la naturaleza del material de construcción permite una nueva flexibilidad en la construcción final del proceso.

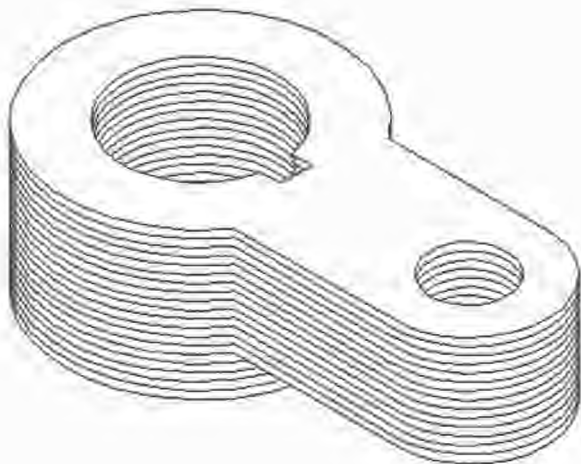
Con los procesos en existencia las capas deben ser creadas secuencialmente, una a la vez. Muchas piezas diferentes pueden ser armadas simultáneamente en la misma plataforma de construcción, pero cada capa de una pieza debe ser creada en un orden secuencial. El sistema JE 5 puede cortar primero una pieza en gruesas capas dejando a la plataforma de la máquina de ensamblaje con diferentes secciones de una sola pieza. Ahora estas secciones son cortadas al grosor del material de construcción.



(FIGURA 3.18) UN EJEMPLO DEL PRINTER JP5



(FIGURA 3.19) LAMINAS TERMINADAS DE JP5



(FIGURA 3.20) PIEZA ENSAMBLADA DE JP5

Las técnicas de **RP** tradicionales poseen varios métodos para trabajar las zonas en voladizo de la pieza durante la construcción de la misma. Casi siempre una estructura de soporte es creada en los sistemas de

. En algunos sistemas el material en exceso que se encuentra en los alrededores de cada sección provee el soporte necesario. En el uso del sistema JP 5 las estructuras de soporte generalmente no se necesitan, debido a que las piezas son primero descompuestas en gruesas rebanadas. La posición de la pieza en donde los cortes toman posición puede ser ajustada para eliminar los sobrantes.

Piezas con curvas complejas generalmente poseen una pequeña área de contacto con el soporte estructural durante la construcción de muchas técnicas existentes. Un ejemplo de esto se muestra a continuación.

Mientras la pieza está siendo armada en esta área tan pequeña de contacto, se ejercen fuerzas, las cuales son aplicadas en el apilamiento de las capas subsecuentes, entonces, debido a esto, pueden fácilmente cambiar su posición, destruyendo el registro de las capas. Para cualquier sistema de **RP**, el operador o usuario debe decidir como orientar la pieza, para minimizar los sobrantes y maximizar el soporte proveído por la plataforma de ensamblaje. En el uso del sistema JP 5 el operador tiene la flexibilidad de reflejar cada ancho de la sección construyendo cada sección de arriba hacia abajo a viceversa. Además cuando se hace una esfera el primer ancho de sección se construirá de arriba hacia abajo, suministrando una gran área de contacto entre la plataforma de ensamblaje y la pieza. Este reflejo de una de las secciones es corregido durante el ensamblaje del grosor de las secciones.

3.6.1- APLICACIONES

- Estrictamente para usos visuales y mayormente educativos.

3.6.2- VENTAJAS

- El sistema JP 5 fue creado como una alternativa de bajo costo en relación a las técnicas de RP mencionadas anteriormente. Estas máquinas producen modelos precisos de prototipos rápidamente, partiendo de una gran variedad.

- El costo inicial de la máquina y el costo de producir una pieza típica es de 10 a 20 veces menor que el de las técnicas existentes de RP. Asumiendo que el usuario ya posee un computador y un software de CAD con el equipo y el software requerido para operar un sistema JP

5, debe de tener un precio de alrededor de los cinco mil dólares.

- Requieren alrededor de 1\$ o 10\$ en materiales de construcción y una o diez horas del tiempo del operador para su construcción. Además las capas deben ser ensambladas manualmente usando el proceso de construcción de dos pasos haciendo que las piezas puedan ser producidas tan rápido como los procesos automáticos.

- El sistema JP 5 esta hecho con la intención de ser una herramienta educativa. El dispositivo usa el mismo método de construcción de capa por capa empleado por muchos de los costosos sistemas. Este requiere que el operador cree un modelo sólido y convierta el modelo a un formato '.STL'. El operador debe seleccionar una orientación apropiada de corte, después de esto el prototipo es ensamblado capa por capa. Además aprendiendo a crear un prototipo usando un sistema JP 5 permite al estudiante un entendimiento básico de las ventajas, limitaciones y función de los sistemas discutidos anteriormente.

3.6.3- DESVENTAJAS

- Como es un modelo de bajo precio y acabado basto por la técnica básica que utiliza, es un sistema que su única aplicación es de caracter educativo y visual, ya que funciona bajo el mismo principio de las máquinas de RP, pero no sirve para moldeado (Investment Casting, Sand Casting, entre otras) ni provee gran ayuda visual.

- Ensamble manual de las capas, hace la producción del modelo algo engorroso.

3.6.4- SISTEMAS DISPONIBLES

- Schroff Development Corp, USA: JP System 5.

3.7- 3D PRINTERS:

Recientemente introducidos, son una nueva generación de máquinas de RP, que algunos se refieren como 3D Printing.

Esta clase de máquinas está enfocada hacia la Ingeniería de Diseño para el modelado conceptual y también para la temprana revisión y aprobación del diseño. Estas amigables máquinas de oficina se encuentran al lado de las estaciones de trabajo de CAD, fotocopadoras de oficina y máquinas de Fax.

3D Systems ofrece su Actua 2100. Este sistema de impresión en 3D deposita capas de material termoplástico usando la tecnología de inyección de tinta. BPM Technologies desarrolló el Personal Modeler el cual crea modelos plásticos a partir de una gota ala vez. Genisys, el printer 3D de Stratasys. Y también podemos considerar como una impresora en 3D al Model Maker de Sanders Prototype, debido a su compatibilidad con ambiente de oficina, a pesar de poder generar piezas para usar en Investment Casting y Sand Casting.

Una pieza de RP usualmente cuesta entre cientos y miles de dólares, y toma de días a semanas o más para su producción de acabado. Las piezas desarrolladas por los printers 3D generalmente cuestan por debajo de los 50 dólares y toman menos de un día o dos en producirse. Los printers 3D son diseñados para la rapidez y el fácil uso. Pero no tienen la libertad de escoger entre una gran variedad de materiales. Los printers 3D disponibles hoy en día ofrecen un sólo tipo de material, pero muchos diseñadores quieren sacrificar la flexibilidad por tan significativo ahorro de tiempo y costo. Se debería de pensar en esto como un modelo basto que ayudaría a los diseñadores a iterar más rápidamente y avanzar en el diseño antes de ir a otras opciones más costosas de prototipado.

Generalmente se divide a los dispositivos de RP en dos grandes grupos. Un grupo produce prototipos de baja calidad como ayuda visual (forma) y algunos de ajuste. El segundo grupo produce prototipos de gran calidad para patrones de maquinado y exámenes para ensamblajes. El primer grupo construye modelos más rápido que el segundo.

3.7- 30 INKJET PRINTING

Sanders Inc. ha tomado ventajas de la tecnología de la inyección de tinta para producir un bajo costo relativo de dispositivos de RP para escritorio. El dispositivo usa dos cabezales de inyección de tinta. Uno depositando pequeñas gotas de plástico fundido y otro depositando gotas de cera fundida. El dispositivo imprime capa por capa. usando el plástico para el modelo y la cera para proveer soporte. Las capas son de aproximadamente 0.025" de espesor. Después de que cada capa es depositada, un dispositivo de fijado es usado para despegar el tope de la superficie de éstas, produciendo una superficie plana y un grosor conocido. Cuando la pieza es completada el soporte de cera es disuelto químicamente.

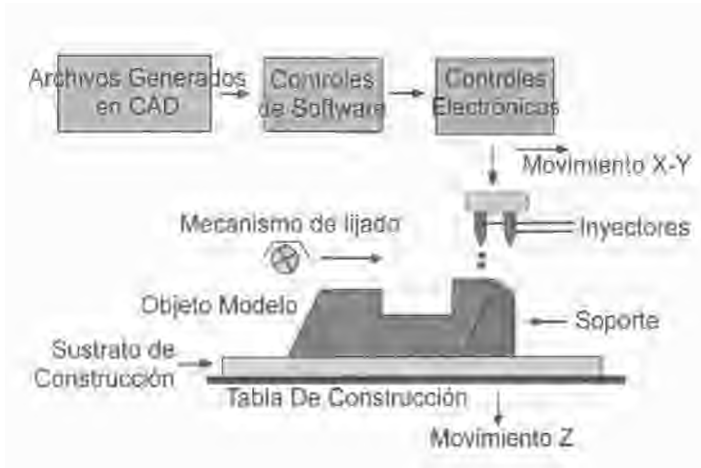


FIGURA 3.14) GRAMO DEL PROCESO DE 3D INK JET PRINTING

3.7.1- APLICACIONES

- Patrones listos para el uso directo en Investment Casting. El material de construcción es ideal en la quema del mismo para las cáscaras de Investment Casting debido al bajo coeficiente de expansión.

3.7.2- VENTAJAS

- El dispositivo de Sanders tiene muchas de las mismas ventajas que las máquinas de FDM, entre las cuales se encuentran; higiénica y pequeña. Es relativamente compatible con un ambiente de oficina. El precio de este sistema es como mucho, la mitad que el de la máquina más pequeña SLA de 3D Systems.

- No existen desechos de la quema que causen contaminación.

- Alta resolución y calidad en imágenes 3D.

- La mayor ventaja de este dispositivo es la habilidad de producir excelentes superficies de acabado. La posición vertical de la prensa es precisa en una 0.0001" , esto permite la creación de muy finas y precisas capas. El grosor usual de una capa es de 0.002" , pero la máquina es capaz de realizar capas de aproximadamente 0.0004" de espesor. A este grosor de capa la máquina es

muy lenta, pero puede producir partes con mejor

de acabado que cualquier técnica conocida. Todas las técnicas producen partes con una superficie diferente, la cual tiene que ser lijada perfectamente si el acabado de la superficie es crítico. La máquina de Sanders es capaz de producir directamente un acabado sin defectos visuales. Como resultado, el dispositivo está acaparando nichos de mercado en el área de modelado de joyas y pequeños objetos.

- Importa archivos de datos .STL, .HPGL, .DXF, Alias .OBJ.

3.7.3- DESVENTAJAS

- Piezas de tamaño limitado.

- Velocidad limitada.

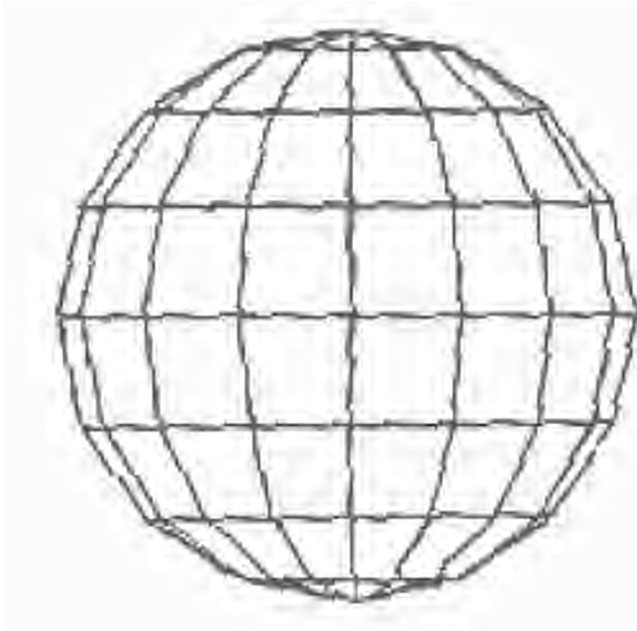
3.7.4- SISTEMAS DISPONIBLES

- Sanders Prototype Inc. (SPI) USA: Model Maker II 3D, Model Maker 6B.

4.1- El Formato de Estereolitografía

Cuando el primer dispositivo comercial de RP fue introducido por 3D Systems, ellos tuvieron que sobrepasar una barrera significativa. Existían muchos softwares de CAD competitivos que podían proveer modelos sólidos para el prototipado. Cada software tenía un único formato de archivo para guardar las especificaciones de la pieza. Mientras que ya existían formatos estándar para el intercambio de información gráfica, las implementaciones de éstos no eran perfectas y comúnmente necesitaban de un operador con experiencia de CAD para corregir y perfeccionar los modelos después de que éstos eran transferidos.

Las diferencias en los archivos de piezas producidos por diferentes software de CAD son el resultado de diferentes modelos usados de algoritmo, diferentes metas funcionales para los programas y diferentes historias de desarrollo.



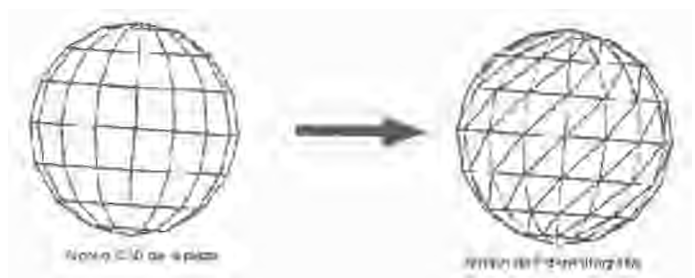
(FIGURA 4.1) EJEMPLO DE ESFERA EN CAD

El número de fases que representa la esfera pueden ser controladas por el diseñador mientras son creadas, pero después de su creación la esfera es almacenada como una lista de polígonos y debido a esto los números de fases no pueden ser cambiadas. Mediante la definición de lo interno y lo externo, el modelo toma el concepto de volumen sólido y por esto el software está en capacidad para calcular la masa de la pieza, los momentos de inercia y otros atributos de un objeto sólido.

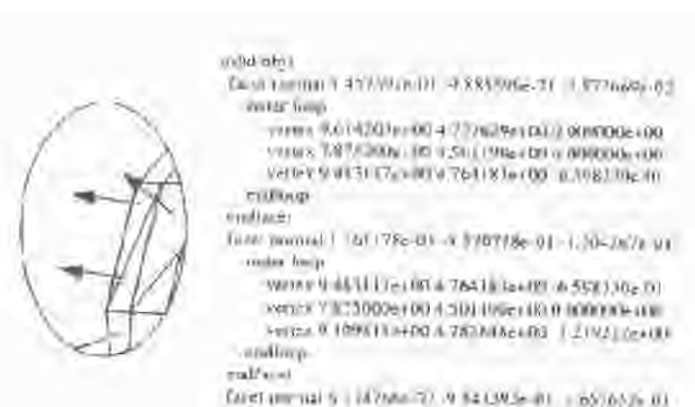
4.2- El Archivo de Esterolitografía: Un formato estándar para RP.

A pesar que los archivos de formato de las piezas para los diferentes sistemas de CAD eran muy diferentes y todavía era deseable que la nueva máquina trabajara con cualquiera de los softwares. Es por esto que para resolver este problema, 3D Systems desarrolló un nuevo formato estándar de archivo que permitiera a la máquina importar a los mismos de cualquier software que usara este formato. Ellos nombraron a este formato especial, el formato de Esterolitografía. A los archivos guardados en este formato se les da convencionalmente una extensión .STL y son referidas como un archivo *.STL.

Bajo el formato .STL las piezas se aproximan a una lista de triángulos las cuales se asemejan a la superficie de la pieza.



La superficie de la esfera ha sido seccionada en triángulos. Asociados a cada triángulo se encuentra un vector el cual apunta en una dirección perpendicular al plano del triángulo, apuntando hacia la parte externa de la pieza. Además este vector define la aproximación de la pieza '.STL como un sólido y no una superficie.



(FIGURA 4.2) TRANSFORMACIÓN DE CAD A .STL

El formato de Esterolitografía resulta en una aproximación de la pieza en donde el tamaño de los triángulos controlan la precisión de la representación de la pieza. En algunos softwares de CAD el operador posee una flexibilidad para ajustar el tamaño de los triángulos y además la precisión del modelo. Otros sistemas dan una precisión ya estandarizada.

De forma que exista una representación matemática correcta de un sólido, los triángulos deben de producir un volumen completo encerrado. Esto es realizado para muchas de las piezas por todos los sistemas de CAD. Sin embargo, hay algunas excepciones, en las cuales la representación del '.STL es incompleta. A continuación se muestra una figura. En la cual el modelo esférico, en el formato ".STL, presenta algunos triángulos perdidos.

Pareciera que el sistema de CAD produjese dos aproximaciones de mitades de esferas y agrupadas las mismas para formar un esfera. Como sea, los puntos de los triángulos definiendo el borde de las mitades, no fue

forzado a coincidir, resultando en pequeños defectos en el modelo.

Un sistema complejo de RP debe de reconocer que estos errores podrían existir y corregir a los mismos.

CONCLUSIONES

- La meta del Diseño Rápido de Prototipos (RP), es el de reducir el tiempo y dinero requerido para realizar un prototipo nuevo, permitiendo la realización de más iteraciones a un diseño en menos tiempo, haciéndolo más seguro y en consecuencia un producto exitoso.

La recopilación bibliográfica obtenida es extensa, con una gran cantidad de páginas Web que van creciendo cada día. los libros en el sector son escasos y por lo general sólo dan una visión introductoria de lo que es el Diseño Rápido de Prototipos, siendo más importantes y actuales las revistas especializadas en el diseño electrónico de productos.

- Se tomaron las principales tecnologías de Rapid Prototyping para realizar el trabajo, pero a cada momento salen nuevas adaptaciones y tecnologías para diseñar prototipos, de forma rápida y eficiente, intentando abaratar costos en la producción y diseño.

Los países industrializados son los más desarrollados en estas técnicas, siendo los Estados Unidos el padre de la tecnología y el que tiene más fabricantes distintos, luego le siguen Japón, Alemania, Francia e Israel. El mercado ha crecido continuamente durante los 10 años que llevan comercializados y se pronostica que este crecimiento continúe, aunque los inversionistas en la bolsa piensan lo contrario.

- El Rapid Prototyping es utilizado con tres motivos fundamentalmente, como ayuda visual para mercadeo o diseño, para pruebas de ajuste y su principal uso como patrón para generar moldes y obtener corridas cortas de producción de materiales distintos a los ofrecidos por los fabricantes para RP.

- En Venezuela, obtener información sobre la cantidad de productos que se diseñan como propios en el país es muy difícil de recopilar, la falta de empresas que se encarguen del diseño de nuevas piezas es limitada y no se consiguió información sobre alguna compañía o alguien que fabrique prototipos de forma tradicional para saber cual es su mercado.

- Es factible colocar un sistema de Diseño Rápido de Prototipos en cualquier compañía que diseñe al menos 100 productos que necesiten pruebas al año, lo cual

es muy difícil de conseguir, la única compañía en Venezuela interesada en montar un sistema de Rapid Prototyping es la multinacional estadounidense Procter & Gamble.

- Entre los aspectos más importantes a resaltar obtenidos del estudio del Diseño Rápido de Prototipos (RP), se encuentran que éstas tecnologías poseen variadas aplicaciones en el área de Diseño y Manufactura de productos. También, por ser éstas de tan variadas especificaciones, como por ejemplo, las distintas tecnologías empleadas, las variadas máquinas existentes, etc., requieren de una inversión la cual va a canalizar a los inversionistas a adquirir el modelo más conveniente para el uso que a éste se le va a otorgar, y la consideración de otros factores como lo son, el espacio requerido y adecuado para la instalación y funcionamiento de las máquinas_

- Estas tecnologías se prestan también al análisis de la futura implantación de unos talleres de servicio o Service Bureaus, los cuales actuarían en carácter de Outsourcing a las compañías que requieran de estos servicios aquí en Venezuela.

- El Diseño Rápido de Prototipos, ayuda a los Diseñadores o Ingenieros a observar en una etapa prematura, la forma y funcionamiento de los productos a desarrollar, dando una enorme ventaja dentro del proceso de desarrollo de los mismos, permitiendo así, obtener una ventaja competitiva en relación a las demás compañías, lo cual hoy en día es muy crucial debido a la globalización existente, lo cual hace que los fabricantes, necesariamente deban mantenerse al tanto de las nuevas tecnologías que se desarrollan continuamente.

- Ahora con RP, tanto los clientes como los Diseñadores o ingenieros, pueden evaluar rápidamente de una forma real, tanto al diseño como al proceso, antes de que el producto entre en las etapas de procesado final (la producción en serie de los mismos) u otras grandes inversiones en tiempo y costo.

- Aunque las piezas desarrolladas por RP no pueden ser usadas para manufacturar directamente a las mismas, éstas son muy útiles para ayudar a los procesos de manufactura por medio de procesos de moldeado dentro de la rama de Rapid Tooling.

- A nivel académico, ésta tecnología es de gran ayuda al estudiante de Ingeniería Industrial debido a que el desarrollo de productos es una de las ramas mayormente utilizadas y en la cual el Ingeniero está en la capacidad de desarrollar su creatividad e inventiva.

Del desarrollo de esta tesis surgieron unos importantes contactos entre las distintas compañías fabricantes de las máquinas de Rapid Prototyping y los Service

Bureaus con la UCAB, lo cual es de suma importancia debido a la posibilidad de la futura implantación de esta herramienta en la Universidad, ya que entonces, se requeriría de más información acerca de esta materia.

•Es de hacer constar que esta tesis está realizada para fines académicos, es decir, para fines de consulta o para el posible desarrollo de esta tecnología en la UCAB.

NOTAS

¹ THOMAS, Charles "An Introduction to Rapid Phototyping"

² THOMAS, Charles "An Introduction to Rapid Prototyping"

³ WHOLERS, Terry "Origins of RP"

⁴ CLUA, Xavier "Prototipos Rápidos: La Respuesta a Nuestros Tiempos"

⁵ WHOLERS, Terry "What is Rapid Tooling?"

HOSNI, Yasser; Jamal Nayfeth; Ravindram Sundaram "Investment Casting Using Stereolithography: Case of Complex Objects"