

Document downloaded from:

<http://hdl.handle.net/10251/131289>

This paper must be cited as:

Sánchez Reche, AM. (2007). Utilización de la tecnología del sinterizado selectivo por láser en el sector del juguete [Tesis doctoral no publicada]. Universitat Politècnica de València. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/131289>



The final publication is available at

Copyright Universitat Politècnica de València

Additional Information

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA  
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ALCOY

TESIS DOCTORAL

UTILIZACIÓN DE LA TECNOLOGÍA  
DEL SINTERIZADO SELECTIVO POR LÁSER  
EN EL SECTOR DEL JUGUETE

DOCTORANDO: D<sup>a</sup> ANA MARÍA SÁNCHEZ RECHE

DIRECTORA: DRA M<sup>a</sup> ÁNGELES BONET ARACIL

## *Agradecimientos*

En primer lugar, deseo expresar mi agradecimiento a la Directora la Dra. D<sup>a</sup> Maria Ángeles Bonet Aracil, del Departamento de Química Textil de la Universidad Politécnica de Valencia, por sus inestimables consejos y aportaciones que tanto me han ayudado en la realización de la tesis y sin cuya dirección no hubiera sido posible realizarla.

Al Instituto Tecnológico del Juguete AIJU, particularmente a su Director el Dr. D. Santiago Gisbert Soler, por sus valiosos consejos, por su confianza en mi trabajo y por poner a mi disposición los medios y recursos necesarios para la realización del mismo.

Al Dr. D. Pedro Vera Luna, Director del Instituto de Biomecánica de Valencia, por su valiosa ayuda y por los conocimientos transmitidos para la preparación de la Tesis.

A mis compañeros del Área de Prototipado de AIJU, por sus aportaciones, discusiones y colaboraciones que han hecho posible la realización del presente trabajo. A D<sup>a</sup> Gema Bernabeu Huesca, del Dpto. de Administración, por sus aportaciones en la preparación del mismo.

A mis padres, por la motivación y confianza que siempre me han transmitido en el desarrollo de mis estudios y proyectos.

# ÍNDICE

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	1
1. ORIGEN .....	1
2. ESTADO DEL ARTE .....	5
2.1. SITUACIÓN ECONÓMICA DEL SECTOR .....	5
2.1.1. NÚMERO DE EMPRESAS .....	8
2.1.2. DISTRIBUCIÓN POR TAMAÑO .....	10
2.1.3. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA .....	11
2.1.4. LA PRESENCIA DE LAS EMPRESAS TRANSNACIONALES EN ESPAÑA ..	10
2.1.5. PRODUCTOS DE FACTURACIÓN DE JUGUETES .....	14
2.1.6. LA DEMANDA .....	15
2.1.7. COMERCIO EXTERIOR .....	16
2.1.8. NIVEL TECNOLÓGICO .....	18
2.1.9. PRINCIPALES PROBLEMAS Y RETOS DE LA INDUSTRIA JUGUETERA .	18
2.1.10. VALORACIÓN PROPIA DEL SECTOR .....	21
2.2. PROCESOS DE CONFORMADO DE PLÁSTICO .....	21
2.2.1. EXTRUSIÓN .....	22
2.2.2. INYECCIÓN .....	23
2.2.3. MOLDEO ROTACIONAL .....	24
2.2.4. TERMOCONFORMADO .....	24
2.2.5. SOPLADO .....	25
2.3. ESTUDIO DE MERCADO DE PROTOTIPOS .....	26
2.3.1. INTRODUCCIÓN .....	26
2.3.2. DEFINICIÓN DE MERCADOS .....	26
2.3.3. CONOCIMIENTO DEL MERCADO SOBRE EL PRODUCTO Y TÉCNICA ...	26
2.3.4. NECESIDAD DEL PRODUCTO .....	28
2.3.5. SECTOR DE MERCADO DONDE INTRODUCIR LOS PROTOTIPOS .....	30
2.4. ESTADO DEL ARTE DE LA TECNOLOGÍA DE PROTOTIPADO .....	31
2.4.1. HISTORIA Y FUNDAMENTOS .....	31
CAPÍTULO II. OBJETIVOS .....	38

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	40
1. PLAN DE TRABAJO .....	40
1.1. METODOLOGÍAS PARA DESARROLLO DE JUGUETES .....	43
1.2. CLASIFICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE PROTOTIPADO .....	43
1.3. SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA .....	43
1.4. FUNDAMENTO DE LA TECNOLOGÍA SELECCIONADA .....	44
1.5. ANÁLISIS DETALLADO DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE MOLDES- PROTOTIPO PARA INYECCIÓN .....	45
2. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE JUGUETES .....	47
2.1. FASE DE PLANTEAMIENTO DE DISEÑO .....	50
2.1.1. IDEA INICIAL .....	50
2.1.2. ESTUDIOS DE IDENTIFICACIÓN DEL MERCADO .....	50
2.2. FASE DE DISEÑO DEL PRODUCTO .....	51
2.2.1. PLANIFICACIÓN Y MEDIOS .....	51
2.2.2. CREACIÓN DE BOCETOS, PLANOS O MAQUETAS INICIALES .....	52
2.2.3. APROBACIÓN DE LA IDEA .....	52
2.2.4. ESTUDIOS DE LAS ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO .....	52
2.2.5. ESTUDIO DEL DESPIECE Y MATERIALES ASÍ COMO DE LA VIABILIDAD TÉCNICA Y/O FINANCIERA .....	53
2.2.6. CREACIÓN DE LOS PLANOS DE LAS PIEZAS .....	54
2.2.7. DOCUMENTACIÓN DE TODO EL PROCESO .....	55
2.3. FASE DE DESARROLLO .....	56
2.3.1. OBTENCIÓN DE PIEZAS FÍSICAS PARA PROTOTIPOS .....	56
2.3.2. OBTENCIÓN DEL PROTOTIPO .....	57
2.3.2.1. Fundamento .....	57
2.3.2.2. Formatos necesarios para fabricar prototipos .....	58
2.3.2.3. Ingeniería inversa .....	60
2.3.2.4. Transferencia de datos entre sistemas CAD .....	63
2.3.3. TOMA DE DECISIONES .....	64
2.3.4. OBTENCIÓN DE LOS DISEÑOS DE MOLDES, TROQUELES, MATRICES Y UTILLAJE EN GENERAL .....	65
2.3.5. FABRICACIÓN DEL UTILLAJE .....	66
2.3.6. PRESERIES .....	67
2.3.7. DISEÑO DE LA PRESENTACIÓN DEL PRODUCTO .....	67

3. DEFINICIONES Y TÉCNICAS DE PROTOTIPADO .....	68
3.1. ¿QUÉ SON LOS PROTOTIPOS? .....	68
3.2. NECESIDAD Y UTILIDADES .....	69
3.3. TIPOS DE PROTOTIPOS .....	70
3.4. TÉCNICAS DE PROTOTIPADO .....	71
3.4.1. MODELOS Y PROTOTIPOS .....	71
3.4.2. TÉCNICAS DE ELABORACIÓN .....	74
3.5. CLASIFICACIÓN DE LAS TÉCNICAS .....	77
3.5.1. PROCESOS DE ELABORACIÓN DEL PRIMER PROTOTIPO .....	78
3.5.2. DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS DE ELABORACIÓN DEL PRIMER PROTOTIPO.....	79
3.5.3. PROCESOS DE ELABORACIÓN DE PRESERIES DE PIEZAS .....	86
3.5.4. DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS DE ELABORACIÓN DE PRESERIES DE PIEZA .....	87
4. FUNDAMENTOS DE LAS TECNOLOGÍAS DE SINTERIZADO SELECTIVO POR LÁSER (SLS) .....	92
4.1. COMPARACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE SINTERIZADO .....	93
4.1.1. UTILIDAD DE LOS PROTOTIPOS FUNCIONALES .....	94
4.1.2. UTILIDAD EN FABRICACIÓN DE MOLDES PROTOTIPO .....	95
4.2. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO UTILIZADO: DTM SINTERSTATION .....	97
4.2.1. EQUIPO DE SINTERIZADO .....	97
4.2.1.1. Módulo de proceso .....	99
4.2.1.2. Cabina de control .....	102
4.2.1.3. Unidad de control del entorno .....	104
4.2.1.4. Unidad de desbroce .....	105
4.2.2. EQUIPO PARA MOLDES-PROTOTIPO .....	105
4.3. MATERIALES UTILIZADOS POR ESTA TECNOLOGÍA .....	107
4.3.1. MATERIALES PARA PROTOTIPOS .....	107
4.3.2. MATERIALES PARA MOLDES-PROTOTIPO .....	119
4.4. CONDICIONES EXPERIMENTALES DE TRABAJO .....	124
4.4.1. METODOLOGÍA PARA OBTENER CADA PROTOTIPO .....	124
4.4.2. RESUMEN DE LAS VARIABLES A ESTUDIAR EN CADA ETAPA DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE LOS PROTOTIPOS .....	125

4.4.3. VARIABLES EXPERIMENTALES PARA CADA MATERIAL .....	126
4.4.4. EQUIPAMIENTO UTILIZADO PARA LA REALIZACIÓN DE LAS TAREAS EXPERIMENTALES .....	126
<b>5. PROCESO DE FABRICACIÓN .....</b>	<b>127</b>
5.1. FABRICACIÓN DE PROTOTIPOS .....	128
5.2. FABRICACIÓN MOLDE-PROTOTIPO .....	132
5.2.1. DISEÑO EN CAD .....	133
5.2.2. CONSTRUCCIÓN DE LAS PIEZAS .....	135
5.2.3. EXTRACCIÓN DE UNA CARGA DE METAL .....	139
5.2.4. PROCESO DE INFILTRACIÓN EN HORNO .....	140
5.3. FABRICACIÓN MOLDE-PROTOTIPO PARA INYECCIÓN .....	144
5.3.1. ESTANDARIZACIÓN DE LA BASE PROTADORA DEL MOLDE SINTERIZADO PARA SU INCLUSIÓN EN LA MÁQUINA DE INYECCIÓN ...	144
5.3.2. DISEÑO DEL MOLDE-PROTOTIPO .....	145
5.3.3. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL "INSERTO" POR TECNOLOGÍA DE PROTOTIPADO RÁPIDO .....	146
5.3.4. TRATAMIENTO DE LAS PIEZAS .....	146
5.3.4.1. Mejora del proceso de infiltración y optimización de la velocidad de infiltración de acuerdo con el tipo de metal empleado .....	146
5.3.4.2. Investigación sobre los ambientes gaseosos con el objetivo de obtener piezas con un menor índice de oxidación .....	147
5.3.4.3. Optimización del tiempo de permanencia de la pieza en el horno .....	148
5.3.5. MANIPULACIÓN POSTERIOR .....	148
5.3.6. VALIDACIÓN DE LOS MOLDES OBTENIDOS .....	149
5.3.7. OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE INYECCIÓN PARA DIFERENTES MATERIALES .....	149
 <b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	 <b>151</b>
1. TECNOLOGÍA SELECCIONADA .....	151
2. FABRICACIÓN DE PROTOTIPOS .....	157
2.1. PROTOTIPOS PLÁSTICOS .....	157
2.2. PROTOTIPOS METÁLICOS .....	159
2.3. LIMITACIONES Y UTILIDADES DE LA TECNOLOGÍA PARA LA FABRICACIÓN DE PROTOTIPOS .....	163

<b>3. FABRICACIÓN DE MOLDES-PROTOTIPO PARA DIFERENTES PROCESOS DE FABRICACIÓN DE JUGUETES .....</b>	<b>164</b>
3.1. FABRICACIÓN DE MOLDES-PROTOTIPO PARA TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS MEDIANTE SOPLADO .....	165
3.2. FABRICACIÓN DE MOLDES-PROTOTIPO PARA LA INYECCIÓN DE PIEZAS EN ZAMAK .....	169
3.3. FABRICACIÓN DE MOLDES-PROTOTIPO PARA TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS MEDIANTE TERMOCONFORMADO .....	172
3.4. FABRICACIÓN DE MOLDES-PROTOTIPO PARA TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS MEDIANTE MOLDEO ROTACIONAL .....	173
3.5. FABRICACIÓN DE ÚTILES DE MATRICERÍA PARA EL CONFORMADO DE CHAPA .....	176
3.6. FABRICACIÓN DE MOLDES-PROTOTIPO PARA TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS MEDIANTE EXTRUSIÓN .....	179
3.7. FABRICACIÓN DE MOLDES-PROTOTIPO PARA LA INYECCIÓN DE PIEZAS EN PLÁSTICO .....	180
3.8. LIMITACIONES Y UTILIDADES DE LA TECNOLOGÍA PARA LA FABRICACIÓN DE MOLDES –PROTOTIPO .....	183
<b>4. PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN DE MOLDES-PROTOTIPO PARA INYECCIÓN .....</b>	<b>183</b>
4.1. SINTERIZACIÓN .....	185
4.1.1. MATERIAL .....	185
4.1.2. POSICIÓN DE LAS PIEZAS .....	185
4.1.3. PARÁMETROS DE CARGA: TEMPERATURAS, POTENCIA DEL LÁSER, ESPESOR DE LA CAPA.....	187
4.2. INFILTRACIÓN .....	188
4.2.1. TRATAMIENTO DE LA PIEZA SINTERIZADA, PIEZA EN VERDE .....	188
4.2.2. CANTIDAD DE MATERIAL Y TIPO DE MATERIAL .....	190
4.2.3. PARÁMETROS DEL CICLO DE HORNO: TIEMPOS Y TEMPERATURAS .....	190
4.3. FABRICACIÓN DEL INSERTO .....	195
4.3.1. ADECUACIÓN DEL SINTERIZADO PARA OBTENER MOLDES .....	195
4.3.2. DEFINICIÓN DE REQUISITOS COMPLEMENTARIOS: PORTAMOLDES .....	196
4.3.3. PARÁMETROS GENERALES DE INYECCIÓN.....	198



5. VALIDACIÓN DE MOLDES-PROTOTIPO: INYECCIÓN DE PIEZAS ...	199
5.1. MOLDE SENCILLO.....	200
5.2. MOLDE COMPLEJO .....	201
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES .....	205
1. CONCLUSIONES PRINCIPALES .....	205
2. CONCLUSIONES DE LA METODOLOGÍA UTILIZADA .....	206
3. LINEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS .....	207
CAPITULO VI. BIBLIOGRAFÍA.....	210
1. BIBLIOGRAFÍA CITADA .....	210
2. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA .....	212
LISTADO DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS .....	213
RESÚMENES .....	215

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

---

# CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

## 1. ORIGEN

La tecnología de conformado de termoplásticos adquiere un protagonismo cada vez mayor en el entorno productivo actual. El uso de la amplia gama de polímeros que actualmente existen y los que continuamente se incorporan al mercado supone en costes y tiempos de producción un importante ahorro, lo que lleva a un aumento de productividad y competitividad de las empresas que los utilizan.

Hoy en día, las geometrías de las piezas de plástico, la interdependencia de los parámetros de producción, su gran influencia en las características finales de la pieza, la dificultad y alto coste de fabricación de moldes prototipo y las altísimas exigencias de calidad a costes más bajos que plantea el mercado internacional, hacen indispensable el uso de nuevas tecnologías y herramientas que brinden a este sector soluciones rápidas y eficaces.

Un sector irremediamente enlazado con los materiales plásticos es el sector del juguete. En éste, la estacionalidad de las ventas conlleva diseñar nuevos artículos en poco tiempo, adoptando hasta el momento el riesgo de fabricar un diseño sin conocer su aceptación por el mercado. Esto motiva que el fabricante cada vez se apoye más en la utilización de prototipos que le permitan presentar el producto en ferias y conocer los factores de éxito del diseño con un coste menor, a la vez que comprobar la funcionalidad y características técnicas del modelo.

La necesidad de disponer de una serie de prototipos que permitan conocer tanto el comportamiento físico del producto, como su repercusión en el mercado, es un hecho incuestionable en la actualidad. El sector destinado a la obtención de estos prototipos ha experimentado un crecimiento espectacular en los últimos años, tanto en los equipos utilizados como en los servicios prestados. A consecuencia de la competitividad actual entre empresas, éstas se ven en la necesidad de innovar, lanzar variedad de productos al mercado en lugar de dedicarse a uno solo, y todo ello en el menor tiempo posible.

La realización de prototipos en el sector del plástico, debido al ahorro que puede suponer conocer las características del producto a crear antes de realizar las inversiones necesarias para su fabricación en serie, es de una importancia capital para el sector del juguete, ya que tales empresas han de dotar al mercado de nuevos productos cada año con tiempos para su desarrollo bastante reducidos.

Con el fin de cumplir estos objetivos, cada empresa desarrolla su propia metodología para la construcción de prototipos en función de las necesidades específicas de cada producto y de los recursos que pueden invertir. El método que utilizan, hasta el momento, es totalmente artesanal y por supuesto presenta grandes inconvenientes y limitaciones. En el caso de querer disponer de prototipos funcionales que permitan realizar ensamblados, la única posibilidad que existe hasta ahora (ya que ofrecer alternativas es uno de los objetivos de esta tesis) es la construcción del molde y realizar posteriormente las modificaciones que se consideren oportunas a molde construido con los perjuicios económicos y temporales que esto produce. Esto conlleva que se eleven en exceso los costes derivados de diseño y puesta en marcha del producto. Como consecuencia, los fabricantes de juguetes están perdiendo competitividad.

En la fabricación de un juguete, desde la concepción de la idea hasta que se produce el primer artículo, intervienen varias etapas, una de ellas la de elaboración de moldes. La fabricación de un juguete, normalmente, se realiza mediante técnicas de conformado de plásticos en estado viscoelástico. Para este proceso se necesitan moldes metálicos con unas características particulares, según el artículo para el que van destinados. Estas piezas, por métodos tradicionales, son costosas tanto económicamente como en tiempo.

La Asociación de Investigación de la Industria del Juguete, Conexas y Afines (AIJU) se constituyó en junio de 1985 como fruto de la colaboración de la Asociación Española de Fabricantes de Juguetes (AEFJ) y del Instituto de la Mediana y Pequeña Industria Valenciana (IMPIVA). Su finalidad es la investigación, desarrollo e innovación tecnológica, el aumento de la competitividad y la mejora de la calidad de los productos dentro del sector español del juguete e industrias conexas y afines, en las áreas comerciales a las que van dirigidos.

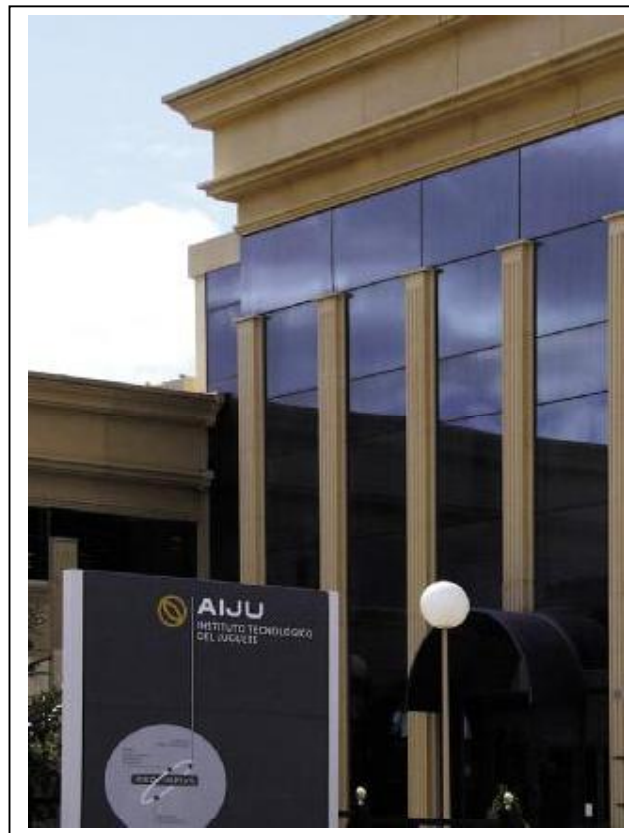


Figura I-1. AIJU. Instituto Tecnológico del Juguete

Con este espíritu, AIJU se ha embarcado en estas investigaciones, con la intención de poner al alcance de las PYMES nuevas tecnologías que redunden en un aumento de competitividad, que les permita una defensa de sus productos frente a los juguetes de baja calidad y precio que amenazan con inundar el Mercado Europeo.

Esta investigación se ha llevado a cabo con el fin último de fomentar la innovación tecnológica de empresas europeas, en este caso empresas jugueteras y de transformación de plásticos, aumentando su competitividad. De esta forma se ha creado una cultura positiva en estas empresas hacia la necesidad de hacer un esfuerzo en investigación con los consiguientes beneficios de una colocación puntera y vanguardista en el mercado.

Esta Tesis es fruto de las actividades desarrolladas en varios proyectos de investigación en AIJU, en el Área de Desarrollo de Producto-Prototipos, donde se trabaja con diferentes técnicas de fabricación de prototipos y desarrollo de productos.

Esta línea de investigación se inicia en el año 1994, diagnosticando cómo se realiza la fabricación de juguetes en Europa y analizando los procesos que intervienen en el desarrollo de estos artículos [1]. De estos análisis se obtienen resultados sobre los aspectos que hay que considerar para fabricar un juguete, se evalúan en las industrias tanto las necesidades en maquinaria, como en los recursos humanos, para determinar cuáles son las necesidades del sector y cómo se pueden aplicar las tecnologías existentes en el mercado.

En el proceso de fabricación del juguete hay unas etapas que son críticas, pues son muy largas, costosas, y a su vez se tienen que repetir cada vez que se diseña un nuevo producto, y son la fabricación de prototipos y moldes.

Se analizó cómo se está realizando la fabricación de prototipos y moldes, y las conclusiones de estos estudios ponen de manifiesto que la industria juguetera está utilizando medios artesanales, que no han introducido las llamadas "Nuevas Tecnologías" o "Tecnologías Rápidas". Y en algunos casos las conocen, pero no saben cómo aplicarlas en el desarrollo de cada juguete.

Hay que hacer especial énfasis en la diferencia entre las "Técnicas de Prototipado", que ya están ampliamente extendidas, y las tecnologías rápidas de fabricación de prototipos, que son las llamadas "Nuevas Tecnologías", y a su vez entre la que son para obtener "piezas" o "prototipos" y las que sirven para obtener "moldes-prototipo", llamadas también "Rapid-Tooling". Y las pocas técnicas que hay en el mercado para la fabricación de moldes-prototipo presentan muchas limitaciones y no se han utilizado en el sector del juguete, con lo que se considera prioritaria esta línea de investigación.

Parte de estas tecnologías más novedosas e interesantes para el desarrollo de juguetes en lo que se refiere a la fabricación de moldes y moldes-prototipo, se han estudiado y evaluado en AIJU a través de varias investigaciones [2-4]. Se realizó una puesta a punto de éstas para adecuarlas a la fabricación de juguetes, y de esos estudios se deduce que presentan muchas limitaciones y no resuelven las necesidades de esta industria, no reducen el tiempo de fabricación, por lo que no se abaratan los costes.

Las sucesivas investigaciones [5] han permitido conocer las carencias detectadas y a su vez, se ha concluido que se necesitaba una tecnología que sea lo más versátil posible, que permita fabricar cualquier tipo de prototipo.

Así, cuando se conoce que está en el mercado la tecnología del Sinterizado Selectivo por Laser (SLS), consideramos interesante investigar sobre su posible uso en la industria del juguete y por supuesto desarrollar una metodología y procedimiento para adecuarla a las necesidades de este sector.

Este sistema de SLS ofrece muchas ventajas respecto a otras tecnologías actuales en la realización de prototipos rápidos. Mientras otros sistemas están limitados a un solo material, el Sinterizado Selectivo por Láser ofrece un amplio abanico de posibles materiales y aplicaciones, que va aumentando cada año con nuevas incorporaciones, consiguiendo así dar una mayor cobertura a las necesidades del mercado. Una de las ventajas más importantes del SLS es precisamente que permite obtener “prototipos funcionales” y “moldes prototipo”, solucionando los problemas actuales del sector juguetero.

En el caso de querer disponer de prototipos funcionales en material final, la única posibilidad que existe es la construcción del molde y realizar posteriormente las modificaciones que se consideren oportunas. La fabricación de moldes de producción para la inyección se realiza normalmente por procesos de arranque de viruta. Son procesos costosos en tiempo y dinero. Esto provoca una rigidez muy grande dentro del ciclo de desarrollo de producto, convirtiendo, la mayoría de las veces, la creación de este molde en el paso más arriesgado del ciclo de lanzamiento de un producto. Estos moldes suelen tardar de 1 a 2 meses y el coste hace que sean necesarias tiradas muy largas para poder amortizarlos y a veces es muy difícil conseguir una demanda suficiente. Además, el molde es muy difícil de rectificar por lo que futuras modificaciones que se pudiesen plantear en la pieza llevarían a la necesidad de fabricación de otro molde, con las consiguientes e importantes pérdidas económicas y temporales. Esto provoca que se eleven en exceso los costes derivados del diseño y puesta en marcha del producto, ya que se necesita realizar una gran inversión para construir los moldes de inyección.

Con la aparición de tecnologías como el SLS algunas de estas necesidades en teoría parece que se pueden solventar, sobre todo las referentes a obtención de prototipos en materiales plásticos sin necesidad de desarrollo de moldes; sin embargo, en lo que se refiere a la fabricación de moldes-prototipo, esta tecnología está lejos de encontrarse en óptimas condiciones para su puesta en marcha, ya que presenta grandes limitaciones que condicionan mucho su utilización y hacen necesario su estudio.

El proceso de SLS puede utilizar una gran variedad de materiales. De hecho, en principio, cualquier material que reblandezca y tenga viscosidad disminuida bajo el calor puede ser utilizado potencialmente. Los materiales para SLS más comunes incluyen poliamidas, policarbonatos y materiales metálicos. La aplicación de esta tecnología a los materiales metálicos hace que sea la más versátil del mercado y de ahí surge la importante aplicación en la creación de los moldes-prototipo.

Para la obtención de piezas en metal el proceso de “sinterizado” transforma el polvo metal de forma similar al plástico. Las partículas de esta aleación metálica basada en acero están rodeadas de un polímero que es fundido por el láser para conseguir lo que se denomina una pieza en *verde*. Tras este primer proceso, la pieza sufre ciclos de calentamiento en un horno para altas temperaturas (a más de 1000°C). Durante el ciclo del horno se elimina el polímero que rodea las partículas metálicas y éstas se unen. El resultado es lo que se denomina la pieza en *marrón*. Durante el ciclo de “infiltración” se funde bronce y se infiltra en la pieza porosa mediante acción capilar. De este modo, el bronce líquido ocupa los huecos dejados por el sinterizado de polvo. Tras el enfriamiento, el resultado es una pieza totalmente compacta con unas propiedades que permiten su utilización para diversos tipos de aplicaciones, especialmente para la obtención de moldes de inyección de plásticos.

En la actualidad las técnicas de prototipado rápido en el ámbito de los moldes prototipo todavía no han alcanzado éxito. Sin embargo, éste es un tema de gran interés para las empresas moldistas, inyectoras y las dedicadas al prototipado rápido, tal como demuestran las constantes referencias a la obtención de moldes-prototipo en Ferias Internacionales (Euromold, Kunststoffe,...), así como las patentes solicitadas en los últimos años. En cuanto a estas últimas, se ha encontrado información sobre obtención de moldes mediante distintas técnicas:

1. WO0196049: "*Rapid solidification processing system for producing moulds, dies and related tooling*" (2001). En esta patente se emplea el sistema de formación de spray, depositándose un metal fundido sobre un patrón, el cual ya existe.
2. WO0194057: "*Rapid reproduction of moulds and mold components*" (2001). En este caso se obtienen insertos en material cerámico mediante inyección de cerámica.
3. US6056915: "*Rapid manufacture of metal and ceramic toolings*" (2000). El sistema para obtener herramientas metálicas es también mediante técnicas de inyección.
4. WO9954075: "*Powdered material rapid production tooling method and objects produced therefrom*" (1999). En esta patente la obtención de los objetos sólidos se obtienen mediante distintas etapas de conformado, infiltración empleando una composición metálica y cerámica.
5. US5458825: "*Utilization of blow molding tooling manufactured by stereolithography for rapid container prototyping*" (1995). En este caso se obtiene un molde para soplado de resina fotosensible. En el caso de soplado los moldes empleados pueden no ser tan resistentes como los de inyección.

No se ha encontrado ninguna patente solicitada que trate de obtener moldes prototipos para inyección mediante sinterizado selectivo por láser. En todos los casos expuestos se emplean otras técnicas de prototipado para obtener ciertos elementos, metálicos y no metálicos, en las que se parte de preformas o patrones ya existentes, se obtienen moldes no resistentes para la inyección, etc., con lo que el problema planteado en la Tesis sigue sin solucionarse por completo.

## 2. ESTADO DEL ARTE

### 2.1. SITUACIÓN ECONÓMICA DEL SECTOR

Europa es el primer productor mundial de juguetes y juegos (excepto videojuegos) y donde están instaladas las grandes multinacionales de EE.UU. y Japón: Mattel, Hasbro, Sega y Nintendo, empresas que producen en todo el mundo, por lo que se puede afirmar que la producción del sector está mundializada, es decir los fabricantes de países desarrollados subcontratan la producción y trasladan las instalaciones al Sudeste Asiático, donde los costes laborales son inferiores.

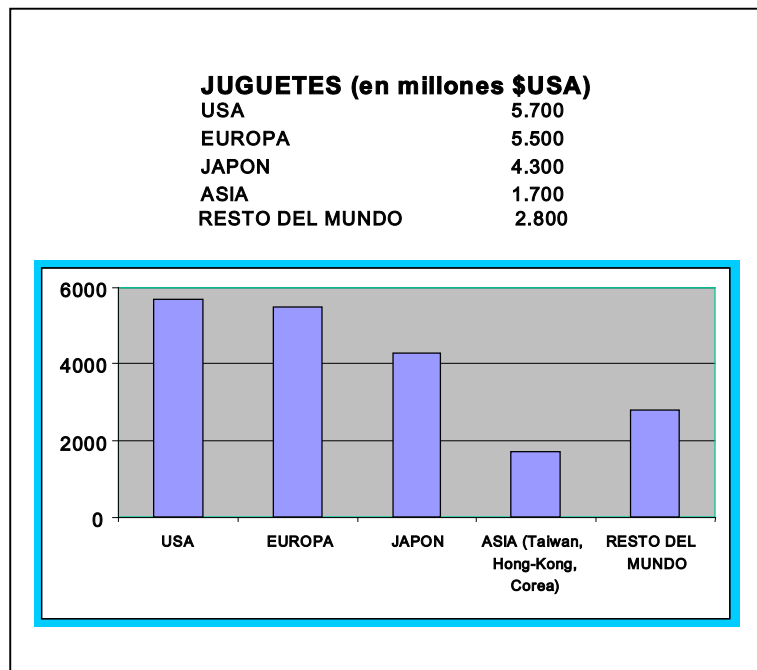


Figura I-2. Tabla de producción total de juguetes

El 80% del mercado europeo está controlado por Alemania (cuota del 27%), España (20%), Italia (19%), Francia (17%) y Reino Unido (12%).

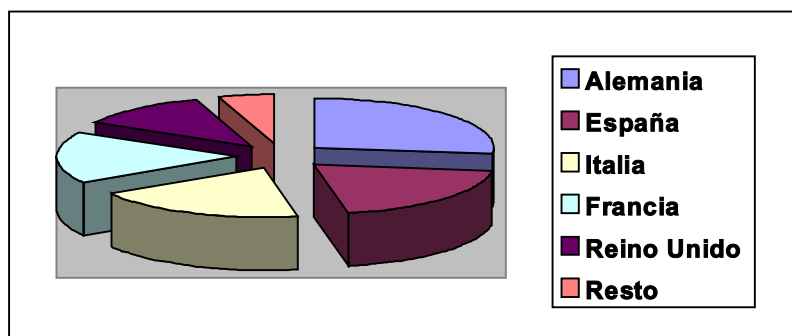


Figura I-3. Distribución de juguetes fabricantes europeos

China suministra el 50% de las importaciones en Europa y concretamente en el juguete de peluche no se puede competir con ellos por coste, después de las fuertes restricciones a la importación impuestas por la UE.

Las multinacionales europeas son de menor dimensión que las de EEUU y Japón, existiendo una gran fragmentación de PYMES.



Hay que añadir, como efecto negativo, que la UE aprobó, a propuesta del Comisario Sr. Brittan, un cupo de importación de juguete amarillo de 1.022 millones anuales. España se quedó sola ante “los 15” defendiendo el sector y finalmente no consiguió reducir el cupo.

La nueva Organización del Comercio Internacional, aprobó la reducción de cupos y contingente hasta el año 2005 en que se ha producido la liberalización total del sector, con lo que nuestras PYMES están amenazadas al final del periodo transitorio.

En España la provincia de Alicante concentra el 31% de las empresas, el 60% de la facturación y el 50% de las exportaciones. Se produce con alta calidad, precios aceptables y seguridad y diseño, siendo además competitivos en Europa.

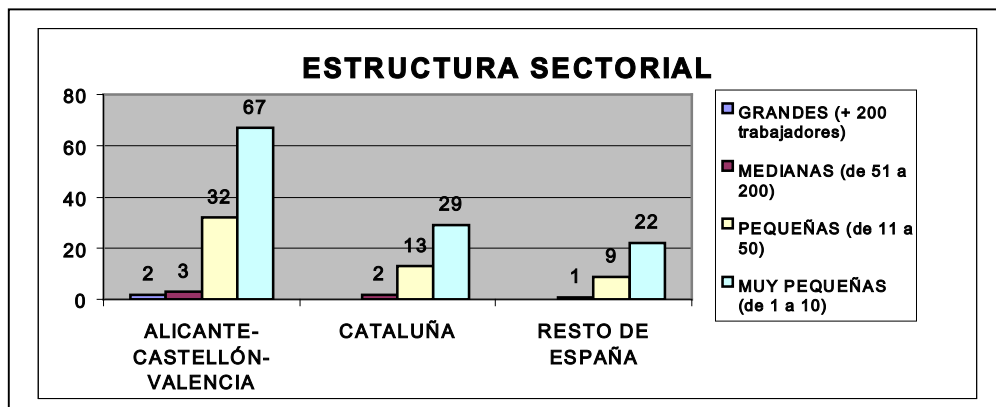


Figura I-4. Tipo de empresas fabricantes de juguetes en España

Las grandes multinacionales que operan en España son: Mattel, Sega y Nintendo. La líder española es Famosa, S.A. (asentada en Onil, Alicante) que controla una cuota de mercado del 20%.

En el gráfico siguiente se ve la distribución en España, según el porcentaje de facturación.

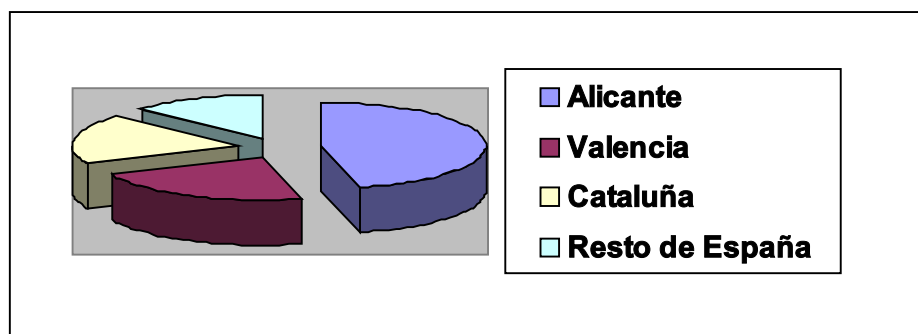


Figura I-5. Distribución de fabricantes de juguetes en España

Francia es el principal destinatario de las exportaciones con el 25% del total y China el principal importador con el 56% del total.

- Empresas que facturan más de 9 millones de euros

Son empresas que han tomado la decisión de internacionalizar la producción en todo el mundo, para fabricar con costes bajos. Están muy bien posicionadas a nivel nacional e internacional produciendo calidad a precios medio y alto y no colisionan con los productos chinos de baja calidad y precio.

Estos grupos invierten grandes presupuestos en publicidad tanto en el marco nacional como en el europeo.

- Empresas que facturan menos de 9 millones de euros

Son el subgrupo más vulnerable, ya que no disponen de grandes presupuestos de publicidad para poder diferenciar sus productos en el mercado de calidad medio-alta que tiene que competir, en muchas ocasiones, con el juguete amarillo de bajo precio y calidad.

La fijación en la UE de un cupo de 1.022 millones anual de importación china les ha causado grandes perjuicios. Con la liberalización total del Comercio del Juguete en la UE este grupo se verá muy afectado.

En los siguientes apartados se concretan más datos del sector desde distintos puntos de vista [6].

### 2.1.1. NUMERO DE EMPRESAS

Para estudiar la evolución del número de empresas es interesante tomar el período de los 15 años en que el sector estuvo reestructurándose y sufrió grandes cambios.

En 1995 el número de empresas que operaban en el sector de fabricación de juguetes se elevaba aproximadamente a unas 180. La evolución seguida en este sector se recoge en este cuadro.

<u>Año</u>	<u>Nº empresas</u>	<u>% incremento quinquenal</u>
1980	348	-
1985	314	- 10
1990	305	- 3
1995	180	- 40

Durante el periodo considerado, se ha generado una paulatina disminución del número de empresas que operan en el sector del juguete, cuyo resultado ha sido que hasta el año 1995 se produjo una reducción muy considerable del 40%. Esta reducción es aún más acusada si se

compara el número actual con las cerca de 500 empresas que existían a mediados de los setenta según el censo industrial del INE.

Sin embargo, es conveniente resaltar que la economía sumergida tiene un alto peso en el sector. De este modo resulta imposible contabilizar el número de unidades productivas fuera de la legalidad, que puede afectar tanto al número real de empresas como a su evolución en los últimos años.

La dinámica registrada por el número de empresas puede considerarse como una consecuencia de la propia evolución del mercado del juguete, que ha estado marcada por una situación donde la oferta ha pasado de tener una demanda asegurada para la mayoría de su volumen de producción, a tener la obligación de competir cada vez de forma más agresiva. En estas condiciones, donde el nivel de agresividad de la competencia se incrementa de manera constante, las empresas con una menor capacidad (empresarial, financiera, productiva, tecnológica, etc.) de adaptación a la nueva situación del mercado, se encuentran abocadas a su desaparición.

Esta reducción en el número de empresas se caracteriza por ser un proceso de desaparición, ya que la fusión de empresas, y por tanto la concentración empresarial, casi no ha existido. En este sentido, se observa que varias de las empresas más importantes del sector durante las décadas de los 70 y 80, se han visto obligadas a salir del mercado. Además, y como se puede observar a lo largo del presente análisis, la desaparición de estas grandes empresas ha generado un proceso de creación de otras de menor tamaño, promovidas por los mismos empresarios, equipos directivos y trabajadores de las empresas desaparecidas.

Posteriormente desde el año 1995 se observa una recuperación del sector, en las figuras 6 y 7 se visualiza la evolución.

Tabla 2.3.1 Evolución del número de fabricantes del sector juguetero

	Año						
	1988	1990	1991	1993	1995	1997	1999(*)
Nº Empresas	337	305	282	220	180	191	203
Variación		-0,5%	-7,5%	-22,0%	-18,2%	0,1%	0,3%

(\*) Datos a 31-12-99

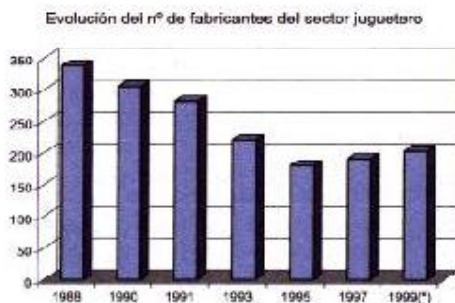


Figura I-6



Figura I-7

## 2.1.2. DISTRIBUCION POR TAMAÑO

Las 203 empresas que conforman la población de fabricantes de juguetes en el año 1999, fueron clasificadas en función de su tamaño. A tal efecto, se eligió el criterio de “número de trabajadores totales”.

Comunidades	Global		Grandes		Medianas		Pequeñas		Muy pequeñas	
	E	%	E	%	E	%	E	%	E	%
Comunidad Valenciana	90	44,33	2	100,00	12	70,59	30	42,25	46	40,71
Cataluña	65	32,02	0	0,00	4	23,53	23	32,39	38	33,53
Resto de Comunidades	48	23,65	0	0,00	1	5,88	18	25,35	29	25,66
<b>Total</b>	<b>203</b>	<b>100,00</b>	<b>2</b>	<b>100,00</b>	<b>17</b>	<b>100,00</b>	<b>71</b>	<b>100,00</b>	<b>113</b>	<b>100,00</b>

E: Número de empresas pertenecientes a cada comunidad

Tabla I-1. Distribución poblacional de las empresas por comunidades y tamaños

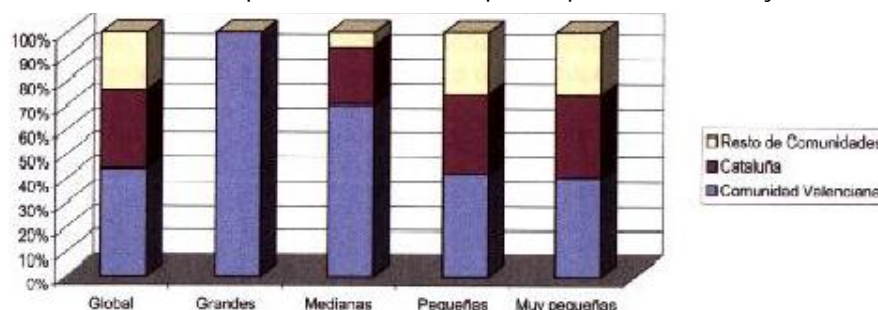


Figura I-8. Gráfica de la distribución poblacional

La tabla I-1 muestra la distribución de las firmas en cuatro grupos principales: grandes, medianas, pequeñas y muy pequeñas. Es de resaltar la fuerte dispersión que en función de la dimensión empresarial caracteriza al sector, donde existen numerosas empresas de reducido tamaño y sólo dos destacan por su relativa gran dimensión.

El carácter minifundista del sector del juguete en España está estrechamente unido a la existencia de graves problemas en el desarrollo de las actividades empresariales de esta industria. El reducido tamaño de las empresas impide que éstas puedan financiar de forma desahogada su capital circulante, ocasionando graves dificultades para llevar a cabo las inversiones que permitan un mayor avance tecnológico y una más elevada competitividad, en un mercado donde los ciclos de vida del producto son cada vez más reducidos siendo la innovación un aspecto clave para mantener la cuota de mercado y la actividad de la empresa.

### 2.1.3. LOCALIZACION GEOGRAFICA

La aparición a principios de este siglo de las primeras industrias de fabricación de juguetes en la provincia de Alicante, concretamente en la localidad de Ibi, y la reconocida capacidad y espíritu empresarial de los habitantes de esta zona, han sido los factores decisivos en el proceso de localización geográfica de las empresas del sector. A estas circunstancias se añade el que una vez iniciado un proceso de especialización industrial en una zona, éste genera una economía de escala, que impulsa la concentración de industrias del mismo tipo en dicha área geográfica. En este sentido, se puede observar que en la provincia de Alicante están ubicadas 68 empresas de juguetes, lo que representa casi un 32% del número total de las empresas existentes en España.

Comunidades	1997		1999		Variación en el % de representación
	E	%	E	%	
Comunidad Valenciana	89	46,60	90	44,33	-2,26
Cataluña	50	26,18	65	32,02	5,84
Resto de Comunidades	52	27,23	48	23,65	-3,58
Total	191	100,00	203	100,00	

E: Número de empresas pertenecientes a cada comunidad

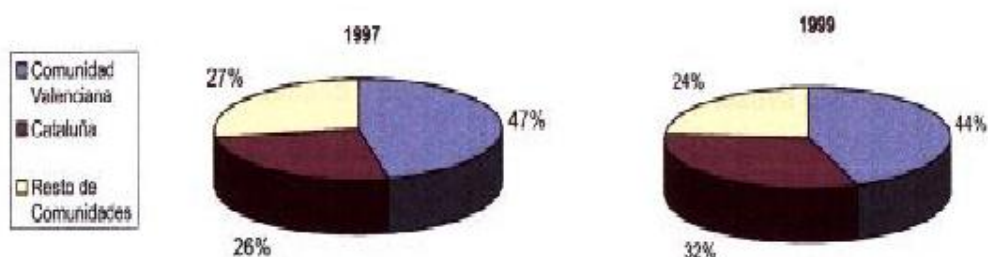


Tabla I-2 y Figura I-9. Distribución de la población de empresas por comunidades

Cuando analizamos la localización geográfica del total de fabricantes jugueteros españoles y comparando los datos con los recogidos en el año 1997 (tabla I-2) resalta el hecho de que, a pesar de la existencia de un incremento neto de la población de empresas, este crecimiento no se produce en todas las comunidades. Destaca Cataluña que aumenta su población en 15 empresas,

mientras que la Comunidad Valenciana sólo lo hace en 1 y el resto de comunidades disminuyen en un total de 4.

Se confirma además una importante concentración de empresas en las Comunidades de Valencia y Cataluña que conjuntamente alcanzan un 76,35% del total. Concretamente, la Comunidad Valenciana cuenta con un 44,33% y Cataluña con un 32,02%; mientras que el 23,65% restante se reparte entre las demás comunidades españolas.

El movimiento empresarial producido en los últimos años ha provocado una modificación en la representación que cada zona tiene dentro del sector. Así, tanto la Comunidad Valenciana como el resto de comunidades pierden parte de su peso específico a favor de Cataluña que aumenta en 5,84 puntos su participación total en el sector, en el periodo estudiado.

Los aspectos más significativos de la distribución geográfica de las industrias del juguete en relación al tamaño de las mismas son los siguientes:

- En la provincia de Alicante se observa una alta concentración de las industrias de tamaño mediano, que representan más de un 20% del total de empresas situadas en esta provincia. Este porcentaje es muy superior al que se registra en Valencia o en toda la región de Cataluña. Este aspecto se corrobora si se analizan los datos de forma vertical, es decir comparando el número de medianas empresas ubicadas en Alicante respecto al total de medianas empresas del juguete existentes en España. Así se observa que el 81% de este tipo de empresas se localiza en Alicante.
- Las empresas que se localizan en Valencia y Cataluña son en su mayoría de tamaño muy pequeño; más del 80 por ciento de las industrias allí ubicadas son definidas de esta forma. También destaca por su importancia el número de empresas pequeñas y, sobre todo, el que en esta zona se encuentren ubicadas 5 empresas de tamaño grande, de las 6 que se contabilizaron durante 1984.

#### 2.1.4. LA PRESENCIA DE LAS EMPRESAS TRANSNACIONALES EN ESPAÑA

Durante los últimos 10 años la industria del juguete española ha asistido a un proceso de penetración en el territorio español de las más importantes empresas de fabricación de juguetes a nivel mundial. Las empresas transnacionales del sector se han instalado en España en los últimos años de la década de los 70, y han pasado a competir en términos "igualitarios" con los fabricantes nacionales. Este hecho, unido a la creciente cuota de mercado que están obteniendo las empresas transnacionales, son los factores que obligan a elaborar un esquemático análisis sobre las características de su actuación.

Del conjunto de empresas transnacionales que operan en España se pueden distinguir dos tipos que presentan claras diferencias, las de procedencia americana (USA) y las europeas.

Las empresas transnacionales de juguetes americanas. La primera de las características que poseen estas empresas es su enorme tamaño; la facturación de cada una de las 6 mayores empresas americanas supera a la realizada por el conjunto de los fabricantes españoles. Sólo esta circunstancia explica la necesidad que tienen las empresas americanas más importantes de buscar nuevos mercados que aseguren el desarrollo de sus actividades. Por ello, el mercado europeo tiene

una especial significación, ya que existe una cierta similitud cultural (facilitada por la televisión) y la capacidad de compra es elevada.

El mercado USA de los juguetes se caracteriza por una enorme agresividad competitiva, que tiene como consecuencia el acortamiento del ciclo de vida de los juguetes. Ello provoca la necesidad de realizar rápidas amortizaciones de los costes de fabricación, es decir, se crea un proceso en el cual la actividad empresarial está dominada por una situación donde es preciso que el mayor volumen de ventas se realice en el menor tiempo posible, que sólo se puede lograr a través de la presencia de la empresa en otros mercados.

De forma resumida, las actuaciones que realizan las empresas transnacionales americanas en los mercados extranjeros donde tienen delegaciones, son las siguientes:

- La instalación en otro país se suele materializar mediante la adquisición de una empresa de juguetes ya existente.
- Optimizan sus costes a través de concentraciones en la producción y la utilización suplementaria de fábricas en Extremo Oriente.
- Basan la penetración de sus productos en la utilización de técnicas de marketing muy desarrolladas y en el uso intensivo de la publicidad en televisión.

Las empresas transnacionales europeas de fabricación de juguetes. En comparación con las americanas son de menor tamaño, y a diferencia de éstas presentan un mayor grado de especialización productiva, lo que les permite aprovechar al máximo las economías de escala de la producción.

Las empresas transnacionales europeas se caracterizan por los siguientes aspectos:

- No consideran imprescindible su presencia como fabricantes en el mercado donde desean introducir sus productos. Esto refleja una situación de selección de países donde ubicar sus fábricas mucho más rígida que la que presentan las empresas americanas.
- Utilizan en sus procesos de penetración la fabricación barata para productos sencillos.
- Las inversiones que realizan en publicidad son similares a las de las empresas transnacionales americanas.
- Uno de los factores más importantes para estas empresas es la ventaja en los costes de producción que proporciona el país donde piensan instalar su fábrica, y especialmente para productos que tienen un volumen de ventas muy elevado y un precio por unidad bajo.

Las principales empresas transnacionales ubicadas en España son las siguientes:

MATTEL ESPAÑA S.A.

BANDAI (JAPON)

CHICCO ESPAÑOLA (ITALIA)

TYCO (U.S.A.)

PLAYMOBIL, S.A. (R.F. DE ALEMANIA)

LEGO (DINAMARCA)

La evolución de estas empresas en el mercado de juguetes español sigue una línea claramente ascendente.

Las empresas transnacionales que operan en España presentan una distribución, según el tipo de juguete que fabrican, marcada por su elevada presencia en la producción de muñecas y sus accesorios; casi el 50% de estas empresas son consideradas como productoras de estos artículos. Los otros tipos de juguetes donde las empresas transnacionales presentan una importante participación son las miniaturas, los juguetes de construcción o montaje y los juguetes eléctricos o mecánicos.

### 2.1.5. PRODUCTOS DE FACTURACIÓN DE JUGUETES

Otra de las variables básicas en análisis de una industria es el volumen de facturación que consiguen de forma individual cada uno de los negocios integrantes de la misma y, en general, el conjunto del sector. En relación con dicha variable la tabla I-3 revela que un 77,21% de las empresas se ubica en el intervalo de ventas que oscila entre 300.000 euros y 12 millones de euros.

Tabla 3.3.1-a Volumen de facturación de las empresas

Intervalo de ventas <sup>a</sup>	Grandes		Medianas		Pequeñas		Muy pequeñas		Global	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Menos de 150 (75)	0	0,0%	0	0,0%	1	2,9%	4	26,7%	5	8,1%
De 151 a 300 (175,5)	0	0,0%	0	0,0%	2	5,9%	3	20,0%	5	8,1%
De 301 a 600 (450,5)	0	0,0%	0	0,0%	2	5,9%	3	20,0%	5	8,1%
De 601 a 1500 (1050,5)	0	0,0%	1	10,0%	5	14,7%	5	33,3%	11	17,7%
De 1501 a 3000 (1750,5)	0	0,0%	0	0,0%	11	32,4%	0	0,0%	11	17,7%
De 3001 a 6000 (4500,5)	0	0,0%	2	20,0%	7	20,6%	0	0,0%	9	14,5%
De 6001 a 12000 (9000,5)	0	0,0%	3	30,0%	5	14,7%	0	0,0%	8	12,9%
De 12001 a 18000 (15000,5)	0	0,0%	1	10,0%	1	2,9%	0	0,0%	2	3,2%
De 18001 a 24000 (21000,5)	1	33,3%	1	10,0%	0	0,0%	0	0,0%	2	3,2%
De 24001 a 30000 (27000,5)	0	0,0%	2	20,0%	0	0,0%	0	0,0%	2	3,2%
Más de 30000	2	66,7%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	2	3,2%
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>100,0%</b>	<b>10</b>	<b>100,0%</b>	<b>34</b>	<b>100,0%</b>	<b>15</b>	<b>100,0%</b>	<b>62</b>	<b>100,0%</b>

N: Número de empresas que se sitúan en cada estrato

Cifra en miles de €

a. Entre paréntesis se muestran las marcas de clase de cada categoría

Tabla I-3. Volumen de facturación de las empresas (en miles de euros)

Cuando relacionamos el volumen de facturación con el tamaño de las firmas, se hace evidente que, a pesar de la existencia de solapamientos en los diferentes estratos de ventas, a medida que aumenta la dimensión de las empresas se incrementa el volumen de negocios. Así encontramos que las empresas muy pequeñas afirman facturar menos de 3 millones de euros, las pequeñas entre 300.000 euros y 18 millones de euros, las medianas de 1'5 a 24 millones de euros, mientras que las grandes aseguran facturar más de 30 millones de euros.



Por otra parte, de la información recogida en la cuenta de pérdidas y ganancias, podemos estimar el volumen total de facturación del sector en 1999 que, aproximadamente, se sitúa en torno a los 802 millones de euros. Al comparar la cifra de facturación de 1999 con la obtenida los años anteriores, como se ve en la figura I-10, y comparando la facturación desde 1998 hasta 2002, se desprende la tendencia positiva de la facturación del sector desde 1997 hasta la actualidad.

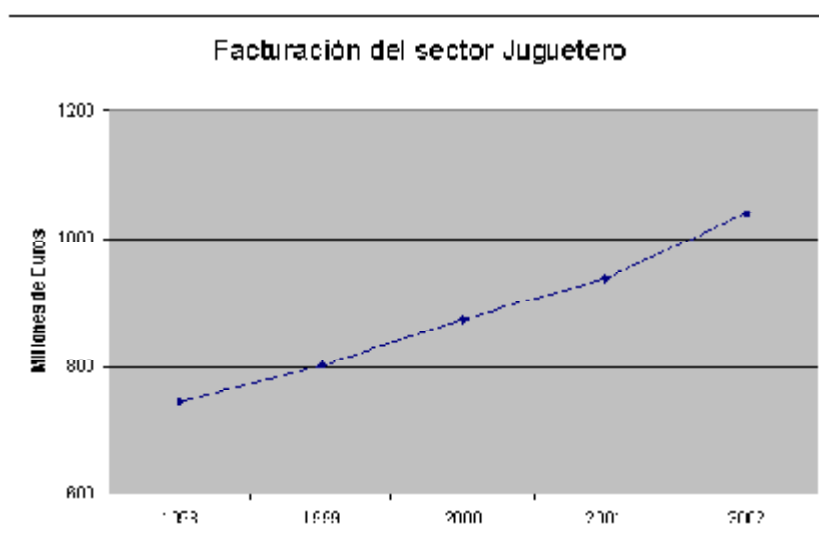


Figura I-10. Evolución de la facturación

Es importante resaltar que la recuperación apreciada en 1999, parece tener su origen tanto en la incorporación al sector de nuevas firmas como en el volumen de facturación que por término medio han obtenido las empresas, pasando de unos ingresos medios de 3,78 millones de euros en el año 1997, a unos ingresos medios 3,95 millones de euros en 1999. Esta media, sin embargo, no se distribuye de la misma manera entre todas las empresas, al gozar las grandes de un peso muy importante en relación con el resto de tamaños. Así, sólo las dos empresas grandes concentran aproximadamente un 33% de la facturación del sector; las 17 medianas ostentan alrededor de un 31,5%; las 71 pequeñas consiguen alrededor de un 27%; quedando exclusivamente un 8,5% para el conjunto de 113 empresas muy pequeñas.

#### 2.1.6. LA DEMANDA

Respecto a la tasa de variación de las ventas totales que cada empresa afirma haber experimentado en el presente año, encontramos que en general éstas han incrementado su cifra de negocios, por término medio alrededor del 31%. Si bien, es notorio que la misma fluctúa

considerablemente en función del tamaño empresarial. Así, dicha tasa se incrementa a medida que el tamaño de la empresa se reduce; desde una variación negativa en el caso de la empresa de mayor tamaño, hasta un 53,59% que, de media, afirman haber aumentado sus ventas las empresas de menor tamaño.

Comparando estos resultados con los recogidos en el apartado anterior, podemos concluir que, a pesar de que las empresas más pequeñas parecen incrementar de forma importante su volumen de negocios, el peso que tales cifras tienen respecto al total del sector no es significativo. Por el contrario, la facturación del sector mayoritariamente representada por el volumen de ventas de las empresas de mayor tamaño se ve, por ende, condicionado de manera importante por las desviaciones experimentadas por estas últimas que resultan ser más reducidas e incluso negativas.

Uno de los problemas que más sensibiliza y preocupa a los fabricantes de juguetes es, sin lugar a dudas, la fuerte concentración de sus ventas las semanas previas a la fiestas navideñas. Esta estacionalidad en la obtención de sus principales ingresos contrasta con la uniformidad requerida, en muchas ocasiones, en el desarrollo de su actividad productiva, como se comentó anteriormente respecto a la estacionalidad de la plantilla.

Esta situación implica un importante desajuste temporal entre los ingresos y los desembolsos, así como asumir el riesgo inherente a dicho desajuste y su consecuente problemática financiera.

Los datos recogidos respecto a la estacionalidad de las ventas nacionales, reflejan fielmente la situación aludida. En efecto, observamos como se concentran en el último trimestre del año más de la mitad de las ventas del sector (52,69%); hecho que se manifiesta especialmente en el segmento de las grandes empresas, que sufren comparativamente una mayor estacionalidad.

Si atendemos a la estacionalidad de las exportaciones, se detecta un cierto "adelanto" de la facturación del sector, ya que aproximadamente el 40% de ésta se sitúa en la primera mitad del año, mientras que el resto se distribuye en el último semestre, si bien con mayor actividad en el tercer trimestre.

### 2.1.7. COMERCIO EXTERIOR

La mitad de la producción nacional está destinada a las exportaciones de juguetes, contabilizadas por la Dirección General de Aduanas, alcanzaron en 1999 la cifra de 334,25 millones de euros. El grueso de las exportaciones se dirige fundamentalmente al mercado de la Unión Europea, concretamente más del 70%. El resto se exporta fundamentalmente a países latinoamericanos, especialmente México y Argentina, y a los Estados Unidos.

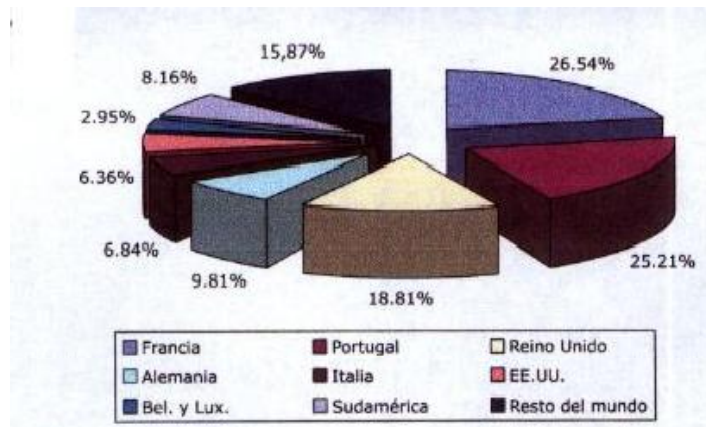


Figura I-11. Exportaciones en el mundo en 2000

Respecto a las importaciones hay que decir que ascendieron en el mismo año a la cantidad de 468,30 millones de euros, un 30% de las importaciones de juguetes españolas en el mismo año.

Las importaciones proceden principalmente de China, más del 70% del total, y de la Unión Europea, que representan aproximadamente el 20% del total importado, preferentemente son los juguetes de mayor calidad.

También es destacable la importación, cada vez mayor, que procede de Taiwán y países del sureste asiático, son juguetes que podríamos calificar como baratos y fundamentan su competencia en los bajos costes laborales.

Ahora bien, hay que decir que desde la liberalización del mercado español en 1986, se está produciendo un aumento de las importaciones muy superior al de las exportaciones, lo que está deteriorando notablemente la tasa de cobertura.

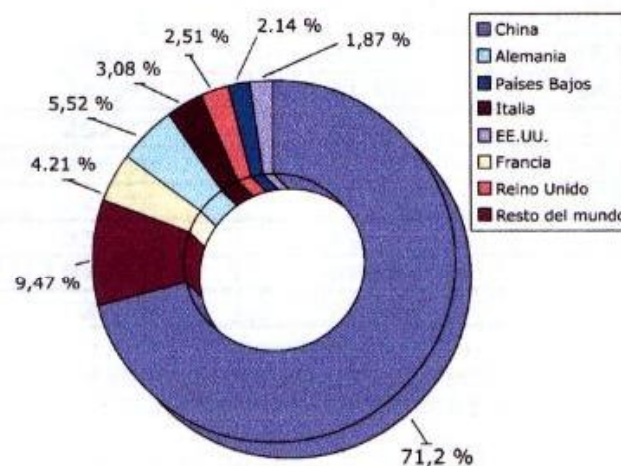


Figura I-12. Importaciones en el mundo en 2000

### 2.1.8. NIVEL TECNOLÓGICO

Para realizar un análisis sobre la situación tecnológica del sector del juguete es necesario tener en cuenta las variables fundamentales de competitividad en el mercado nacional y exterior. A este respecto, cabe señalar que el sector se encuentra inmerso en un proceso de sustitución de la estrategia tradicional de actuación, que está pasando de basarse en los bajos costes a fundamentarse en aspectos como la eficiencia productiva, mayor calidad de productos y de diseño, mejor acabado del producto final, creación de imagen de marca, mayor conocimiento de los mercados, seguridad y protección del consumidor, etc.

Los mayores progresos en los anteriores ámbitos se han producido tan solo en las empresas de mayor tamaño, que han modernizado fundamentalmente su proceso productivo incorporando nuevas tecnologías. Este tipo de empresas disponen de un nivel tecnológico medio alto, contando en algunos casos con procesos totalmente automatizados, uso de robots en la producción y equipos informáticos para el control de la misma. Algunas empresas de menor tamaño también han avanzado en este sentido, pero aún se puede apreciar que la mayoría están situadas en un nivel inferior a la media de la Unión Europea. El nivel tecnológico todavía sigue siendo un problema para la mayoría de las empresas jugueteras.

Con vistas a facilitar el acceso de las empresas jugueteras a las tecnologías más modernas se creó el Instituto Tecnológico del Juguete (AIJU) en la localidad de Ibi, cuyo fin principal es suministrar nuevos métodos de producción y diseño a las empresas que por sus características no pueden acceder de modo individual a las nuevas tecnologías.

### 2.1.9. PRINCIPALES PROBLEMAS Y RETOS DE LA INDUSTRIA JUGUETERA

La industria del juguete tiene una larga experiencia de diseño, calidad e innovación. No obstante también es posible identificar los puntos negativos que condicionan el futuro del sector. Guerra de novedades o juguetes con un ciclo de vida muy corto, escasa presencia en los mercados europeos, la progresiva penetración de productos extranjeros, la estacionalidad de las ventas, insuficiente nivel de creación, el bajo poder de negociación con la distribución, son todos ellos factores a tener en cuenta.

A continuación se ofrece un análisis de la problemática del sector, conformada por un conjunto de debilidades de las que unas son causa de las otras y viceversa.

- **Las Nuevas Pautas del Consumo**

La industria juguetera como cualquier industria está sometida a la evolución de los mercados. En este sentido, dos cambios se están produciendo, la modificación de los hábitos de juego de los niños que hace que se prefiera jugar con menos juguetes y más aparatos electrónicos,

y la estacionalidad de la demanda, lo que repercute en la planificación de empresas y en el bajo grado de utilización de la capacidad productiva con el consiguiente encarecimiento de los costes.

- **La Estrategia Competitiva de la Oferta**

La mayoría de las empresas del sector, salvo alguna de tamaño grande o medio, basan su estrategia competitiva en la gama media-baja y baja de productos (productos de bajo precio). Esta estrategia va a tener escasa efectividad en el futuro, dado el continuo aumento en el mercado de juguetes producidos en el Extremo oriente asiático producidos con costes laborales relativamente mucho más baratos (en algunos casos la relación es 8:100).

Además, la continuidad de esta estrategia no va a solucionar muchos de los problemas a los que se enfrenta el sector como es el exceso de capacidad productiva inutilizada y la estacionalidad de los mercados. La calidad, el diseño, la comercialización y la formación deben convertirse en los pilares en que se sustente la nueva competencia de la industria juguetera en los mercados europeos.

- **Escasa Atención a la Publicidad o cualquier otro tipo de Promoción**

La mayoría de los gastos del sector se destinan al consumo de materias primas y personal. El presupuesto destinado a los gastos de marketing e intangibles es relativamente escaso. Es necesario una reestructuración de costes que prime de alguna forma aspectos tales como la investigación de mercado y producto, publicidad y comunicación.

- **Continuo Descenso de la Capacidad Negociadora frente a los Distribuidores Comerciales**

Como se ha comentado anteriormente, el mayor protagonismo que adquieren los hipermercados como canales de distribución de los juguetes hace que sean estas grandes superficies las que impongan sus criterios en las relaciones comerciales con la industria juguetera. Este hecho acarrea dos graves perjuicios para el sector. Primero porque las grandes superficies retrasan el momento de sus pedidos lo que dificulta de manera considerable la actividad planificadora de muchas de las empresas jugueteras. Y, segundo, porque cada vez con más frecuencia, estos intermediarios de la distribución son capaces de devolver gran parte de los juguetes no vendidos a los fabricantes de origen.

- **Reducida Dimensión Empresarial**

A pesar de tener un tamaño medio superior al del conjunto de la industria y concentrar casi un 40% del empleo en empresas de más de 100 trabajadores, nos encontramos ante una estructura empresarial atomizada, hecho que dificulta la obtención de una dimensión mínima para realizar inversiones de renovación tecnológica, incorporación de cuadros técnicos, mejoras en el producto o en el proceso productivo, aprovisionamiento, comercialización, etc. El reducido tamaño de las empresas jugueteras se convierte pues en un factor determinante de muchas deficiencias por las

que atraviesa el sector. Las posibles vías de cooperación o colaboración se muestran como alternativas para conseguir una mínima dimensión operativa en los anteriores aspectos.

- **Bajo Nivel Tecnológico de las Empresas del Sector**

Uno de los principales problemas a los que se enfrenta la industria juguetera es el acortamiento del ciclo de vida de sus productos, el cual no sólo se ve afectado por el fenómeno de la moda sino también por la innovación tecnológica, tanto en materiales como en procesos. Este acortamiento hace necesaria una rápida amortización de las inversiones precisas para la introducción de nuevos modelos al mercado, favoreciendo a las empresas que pueden lanzar grandes series.

Además, tal como se ha comentado anteriormente, el cambio de estrategia competitiva pasa por la producción de juguetes de calidad, lo cual se apoya en la innovación y el nivel tecnológico. La industria juguetera dedica generalmente poca parte de su presupuesto a I+D y además las relaciones con los fabricantes de tecnologías no son las más óptimas, pues éstos se convierten en meros proveedores de servicios sin adquirir un papel más activo en el diseño del producto. Es por ello por lo que las empresas deben hacer un uso más eficiente de la tecnología disponible e incorporar nuevas tecnologías tanto en la producción como en el proceso para poder competir así con unas garantías mínimas.

Por último, hay que destacar el importante papel del Instituto Tecnológico del Juguete como mediador en el acceso a nuevas tecnologías para la mayoría de las empresas del sector.

- **Débil Formación de los Recursos Humanos**

La cualificación de los recursos humanos es el resultado fundamentalmente de la experiencia y de la oferta formativa, la cual en el ámbito del juguete es muy escasa, tanto de formación profesional reglada como ocupacional. No existe ninguna rama específica para la formación reglada en el sector del juguete y tan sólo dos están indirectamente relacionadas con el sector, tal es el caso de las ramas de metal y electrónica.

También es importante una mayor formación continua de los cuadros técnicos y directivos, así como la asistencia y formación profesional en el uso de nuevas tecnologías y de ordenadores para el desarrollo y control de nuevos procesos de producción, actividades formativas que vienen siendo desarrolladas por AIJU.

Hay escasez de medios formativos y hay pocos centros o unidades de diseño superiores. La falta de expertos en esta área es una cuestión fundamental a la hora de conseguir nuevos productos más competitivos y diferenciados.

Pero no sólo se destinan pocos recursos a la formación del capital humano desde fuera del sector sino que también hay que dejar constancia del escasísimo esfuerzo que las empresas del sector dedican a la actividad formativa de sus empleados.

### 2.1.10. VALORACION PROPIA DEL SECTOR

En términos generales, el propio sector afirma que la estructura productiva del sector juguetero se ha ido deteriorando últimamente. Las causas de ello se han ido apuntando a lo largo de este capítulo: aumento de las importaciones asiáticas, escasa atención a la innovación tecnológica y marketing, factores todos ellos que a su vez se derivan de la escasa dimensión de las empresas y su deficiente estructura organizativa.

Según el propio sector, sólo un reducido grupo de empresas, generalmente las de mayor tamaño, han podido aprovechar los nuevos retos y han sabido asentarse en un mercado global competitivamente. Sin embargo, la realidad para el resto de las empresas es bien distinta. A pesar de ello, el mismo sector afirma que existen diferentes vías de solución para las mismas, las cuales dependerán a su vez del tamaño de la empresa que se trate.

Las recomendaciones dirigidas a las empresas medianas que ya han alcanzado una posición mínimamente competitiva son el crecimiento individual de las empresas y llevar a cabo una política de fusiones y absorciones hasta alcanzar un tamaño mayor.

Sin embargo, para las empresas más pequeñas, que son la mayoría, el informe del sector sugiere tres alternativas:

- Renunciar a funciones genuinas de todo fabricante (compras, logística, producción) para desarrollar otras como innovación de producto, marketing, diseño, comercialización, marcas, etc.
- Al contrario de la anterior se trata de asumir funciones genuinas de fabricante, lo que a su vez sugiere dos nuevas alternativas:
  - Producir para otros fabricantes o incluso para los grandes agentes de distribución comercial, renunciando a la marca, red comercial propia, etc.
  - Fabricar al amparo de la moderna distribución, estableciendo mecanismos de colaboración a largo plazo con los detallistas.
- Competir por nichos de mercado, en productos o áreas geográficas. Esta alternativa es la más dura de todas las señaladas y requiere capacidad financiera, de innovación y de anticipación a las acciones de la competencia.

### 2.2. PROCESOS DE CONFORMADO DE PLÁSTICOS

Desde el plástico que se fabrica en un proceso químico hasta el producto final, que es usado por el consumidor, se requieren pocas etapas intermedias. La sustancia de partida "plástico" se produce en forma de granos (el llamado granza), polvo, pasta, o en forma líquida, y posteriormente es transformado en semielaborados o piezas terminadas [7-9].

El sector del juguete utiliza los plásticos de una forma muy importante y por lo tanto la tecnología de conformado de plásticos está muy presente en cualquier industria juguetera.

Uno de los objetivos de esta tesis es validar el SLS en la obtención de moldes-prototipo para diferentes procedimientos de transformación y mecanizado de plásticos. Como anteriormente se indicó, la construcción de moldes para el conformado de plásticos es una de las etapas más costosas en cuanto a tiempo y dinero, con el posible problema de que, sin una adecuada gestión del desarrollo del producto, se pueden encontrar problemas en las piezas fabricadas con los moldes hechos, siendo necesaria incluso la creación de un nuevo molde con los importantes perjuicios que ello provoca.

Entre los procedimientos más importantes utilizados en la industria del plástico-juguete se encuentran:

### 2.2.1. EXTRUSIÓN

La extrusión es un proceso continuo para producir semielaborados a partir de plástico. La gama de productos se extiende desde los semielaborados más simples, como tubos, planchas y láminas, hasta los perfiles más complejos. En la extrusión, el plástico recibe una nueva forma, después de haber sido fundido completamente, por lo que este proceso se cuenta dentro de los procesos de moldeo.

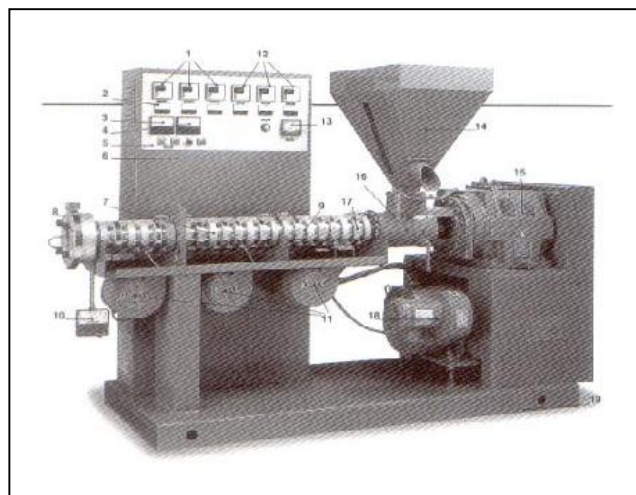


Figura I-13. Máquina de extrusión

La extrusora (Figura I-13) es la parte común a todas las instalaciones de extrusión y a los procesos que se fundamentan sobre ella. Tiene como misión hacer del plástico que se le introduce – en general, como granza o polvo- una masa fundida homogénea, y obligarla a pasar por un molde-boquilla.



El material es administrado a la extrusora por una tolva. En el husillo, por medio de unas resistencias se funde y homogeneiza el producto que es obligado a pasar por la boquilla o molde que tiene la forma adecuada al producto que se desea obtener.

### 2.2.2. INYECCIÓN

La inyección representa el proceso más importante de fabricación de piezas de plástico. Aproximadamente un 60% de las máquinas de transformación de plástico son máquinas de inyección. Con ellas puede abordarse la fabricación de piezas desde un peso de unos cuantos miligramos hasta 90 kg. La inyección se cuenta entre los procesos de moldeo [11,13].

La inyección es adecuada para artículos de gran consumo, ya que la materia prima normalmente puede transformarse en un producto terminado en un solo paso. Supuesta una buena calidad del molde a emplear la inyección permite la obtención de piezas sin rebabas, contrariamente a lo que sucede en la fundición de metales y en el prensado de termoestables y elastómeros.

Las máquinas de inyección son normalmente máquinas universales. Su tarea principal consiste en la fabricación discontinua de piezas a partir de masas de moldeo de elevado peso molecular, con la ayuda de presiones elevadas (definición según DIN 24450).



Figura I-14. Máquina de inyección

Es similar a una máquina de extrusión, pero con la necesidad de trabajar a presiones mucho mayores. En vez de hacer pasar la masa de plástico fundido por una boquilla como hace una extrusora, se introduce esta masa en la cavidad de un molde con la forma negativa de la pieza a

fabricar. El plástico se enfría en el molde y finalmente se extrae al separarse las dos carcasas del mismo. El molde no es directamente un elemento de la máquina de inyección, ya que debe construirse especialmente para cada pieza. Consta, como mínimo, de dos mitades, que se fijan a las placas de sujeción de la unidad de cierre.

En la inyección de Zamak (que es una aleación de Zn-Al(4%)-Cu(0.1-3%) de bajo punto de fusión muy utilizada para producir juguetes de metal) el metal fundido permanece en un crisol junto a la máquina de inyección modificada; a continuación se introduce por medio de un pistón en el molde preparado para aguantar altas temperaturas a través de un conducto que une el crisol y el molde [14,15].

### 2.2.3. MOLDEO ROTACIONAL

El moldeo rotacional es una técnica de transformación de plástico basado en la introducción del material a transformar dentro de un molde hueco. Éste gira según dos planos perpendiculares (uno respecto al otro). La acción de la fuerza centrífuga hace que el material, en forma de polvo o líquido, recubra las paredes del molde. Es entonces cuando el material sufre un proceso de endurecimiento, generalmente por calor, y tras enfriar, se abre el molde y se extrae la pieza hueca con la forma de éste.

El moldeo rotacional consta de cuatro operaciones básicas:

- Carga en molde metálico
- Giro del molde mientras se calienta el horno
- Enfriamiento del molde
- Extracción de la pieza del molde

### 2.2.4. TERMOCONFORMADO

Por termoconformado se entiende el moldeo de plásticos por acción de calor y fuerza. Existe una gran variedad de procesos técnicos. Para el termoconformado de termoplásticos han acabado por imponerse los sistemas de aplicación de fuerza basados en aire a presión y/o vacío.

Se transforman sobre todo láminas y planchas de espesores comprendidos entre los 0.1 y los 12 mm. El material, también conocido como semielaborado, se presenta en forma de planchas aisladas o como bobina.

En una primera etapa el semielaborado es calentado. Después se entra en el moldeo de la pieza, en el que se estira el plástico. El semielaborado ya caliente se tensa encima de un bastidor y, por medio de aire a presión o vacío, se estampa o se presiona contra la pared de un molde. Una desventaja del proceso es que sólo una de las caras de la pieza copia exactamente el molde.

Por esta razón distinguimos entre procesos en positivo y en negativo, según sea la cara interna o externa de la pieza que es moldeada. En el proceso en negativo, el semielaborado es estirado hacia el interior del molde, mientras que en el proceso en positivo es aspirado sobre el mismo.



Figura I-15. Máquina de termoconformado

### 2.2.5. SOPLADO

El soplado se utiliza para piezas con cavidades en su interior, como por ejemplo las botellas de plástico. Suele venir acompañado por el procedimiento de extrusión o inyección. En este proceso cuando sale la preforma o tubo de la hilera y desarrolla una longitud determinada, un molde de cavidad partido se cierra alrededor y pinza un extremo [16].

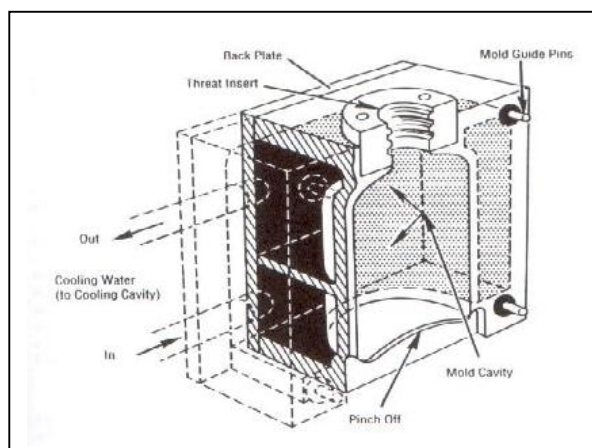


Figura I-16. Molde de soplado

Para inyectar el aire comprimido se emplean varios sistemas. Uno puede ser a través de la hilera, otro a través de una aguja de soplado sobre la que cae la preforma, o con agujas que pinchen a ésta.

## 2.3. ESTUDIO DE MERCADO DE PROTOTIPOS

### 2.3.1. INTRODUCCIÓN

A continuación se expone un análisis del mercado existente en la fabricación de moldes-prototipos o procesos para series cortas.

En este apartado se describen las conclusiones a cada una de las cuestiones investigadas, llegando a realizar un estudio de mercado del proceso de prototipado. Estas cuestiones serán investigadas y enfocadas desde el área de prototipado de AIJU. No se recurrirá para obtener la información a encuestas personales, sino que nos basaremos en bases de datos de organizaciones que ya se han encargado de recopilar información, y la asistencia e investigación de lugares específicos especializados en el área a tratar; los prototipos, ya que estos serán los que posean más información del mercado de su propio campo.

El proceso de investigación de mercado consta de dos etapas:

- Ø Definición de objetivos
- Ø Diseño del estudio
  - Obtención de datos
  - Análisis e interpretación de datos

### 2.3.2. DEFINICIÓN DE MERCADOS

El objetivo general de este apartado es averiguar si existe una demanda suficiente del proceso y en que mercados se puede introducir. Para ello se ha dividido el problema en una serie de cuestiones que deberán ser investigadas:

- ¿Tiene conocimiento el mercado de la existencia de la tecnología?
- ¿Existe una necesidad de la tecnología?
- ¿Qué sector de mercado es el más idóneo para introducir la tecnología?
- Realizar un análisis de la posible competencia del producto para mejorar sus defectos
- ¿Qué aspectos atraerán al cliente sobre la tecnología?
- ¿Cómo acceder al mercado?

### 2.3.3. CONOCIMIENTO DEL MERCADO SOBRE EL PRODUCTO Y TÉCNICA

Para la fabricación de series se utiliza la colada al vacío que es una técnica empleada desde 1980, en la que se utilizaba la colada de distintos materiales y para distintos fines. Pero fue un estudio realizado en Japón sobre la utilización de la técnica de colada por vacío de moldes de

silicona, la que hizo que empezase a introducirse en el mercado esta técnica en el área del prototipado.

En la actualidad una máquina de colado por vacío es mucho más fácil de adquirir, aunque no se ha implantado en muchos sitios. Muchas de las universidades las adquieren ahora para la realización de estudios para prototipos, aunque hasta ahora se han basado fundamentalmente en el estudio de la técnica con moldes de silicona y posteriormente de resina epoxi.

Para la fabricación de series, las técnicas de prototipado rápido son muy útiles y así, con la aparición de mejoras tecnológicas más rápidas y precisas, surge la necesidad de estudiarlas en esta tesis. Paralelamente se estudia la fabricación del primer prototipo, para así ver si se mejora el proceso global de desarrollo de producto.

Los procesos de prototipado rápido según su presencia en el mercado son expuestos en las tablas I-4 para la elaboración de la primera pieza y en la tabla I-5 para la elaboración de series.

Técnica	Tecnología en la que se basa	% mercado
Estereolitografía	Fotopolimerización	64
FDM	Fusión	11
LOM	Pegado y corte	15
SLS	Fusión	10

Tabla I-4. Procesos de elaboración del primer prototipo

Técnica	Tecnología en la que se basa	% mercado
Colada moldes de silicona	Deformación del material	80%
	Colada de resina	
Proyección metálica	Aporte de material	11%
	Proceso de inyección	
Moldes-prototipo	Deformación del material	10%
	Proceso de inyección	

Tabla I-5. Procesos de elaboración de series de prototipo a partir del modelo inicial

De aquí podemos concluir que en áreas especializadas sí se conoce esta tecnología, pero que el resto de empresas, sobre todo en las PYME no se han aplicado estas tecnologías o no se ha recurrido a ellas por falta de información.

Tanto el sinterizado como la fabricación de moldes-prototipo son las que tienen menor presencia, por lo tanto habrá que hacer llegar estas tecnologías a las empresas y no sólo a lugares especializados donde ya sabemos que si son conocidas.

Para determinar el conocimiento del producto en el mercado y la necesidad del producto hay que observar la evolución de la industria del prototipado rápido.

#### 2.3.4. NECESIDAD DEL PRODUCTO

El sector industrial del juguete realiza un importante esfuerzo cada temporada en el lanzamiento de nuevos productos. El corto periodo de tiempo entre temporadas obliga al sector a diseñar estos nuevos productos en un espacio de tiempo muy corto, con lo que se corre el riesgo de realizar un diseño sin saber como va a ser aceptado por el mercado. Este riesgo es lo que obliga al fabricante a centrarse cada vez más en el uso de prototipos y modelos que le permitan visualizar el producto y conocer su éxito al menor coste, así como examinar la funcionalidad y las características técnicas del modelo.

El problema en la fase de fabricación del producto es la elevada inversión requerida para la construcción de los moldes. El proceso es lento y resulta a veces complicado llevar a cabo el ensayo de las piezas, los ensamblajes experimentales y la validación del producto. Más tarde, si los resultados no son correctos, se deben hacer modificaciones directamente sobre el molde. Estos contratiempos incrementan la inversión y suponen un problema si las series de piezas son cortas o los precios de los juguetes no pueden incrementarse.

Para detectar que la tecnología del prototipado rápido para elaboración de moldes es una necesidad, además del problema mencionado que resuelve esta técnica, debemos conocer en primer lugar la evolución de las empresas del prototipado, ya que si éstas han ido evolucionando, significa que se están aplicando las técnicas y que por lo tanto las empresas acceden a ellas porque las necesitan y aumenta la necesidad del prototipo

#### Evolución de la industria del Prototipado Rápido

El sector de Prototipado Rápido presenta en los últimos años un crecimiento espectacular tanto en equipos como en servicios. Cada día más, las empresas deben presentar en el mercado nuevas variedades de productos y en el menor tiempo posible. Prueba de ello es que el mercado de equipos para la realización de prototipos rápidos está estimado a escala mundial en 350 millones de dólares.

La técnica de validación de proyectos por medio de la fabricación de prototipos durante la fase de desarrollo del producto va en aumento por parte de las empresas a la hora de planificar el lanzamiento de un nuevo producto o la modificación de alguno ya existente. En la actualidad y debido a la demanda del mercado, aparecen nuevas técnicas de construcción de prototipos. Aparece la demanda de las técnicas de obtención de prototipos originales, son las llamadas técnicas MIM (Material Increase Manufacturing), ya conocidas como Rapid Prototyping (RP) que están basadas en la tecnología por aporte de material, dentro de la cual se desarrolla esta tesis. Una de las ventajas principales de estas técnicas es la disponibilidad de prototipos en un espacio de tiempo reducido, con una buena relación calidad-precio.

En la figura I-17 se muestra el proceso general de obtención de un prototipo por medio de Rapid Prototyping. Dichos Prototipos serán utilizados también como masters para la obtención de preseries, utilizando algunas de las técnicas destinadas a ello. La elección de la más adecuada tanto para la primera fase como para la segunda nos viene dada, principalmente, por los recursos disponibles y la finalidad a la cual será destinado el prototipo (solicitaciones mecánicas, validación estética, pruebas de montaje y ensamblaje, etc.).

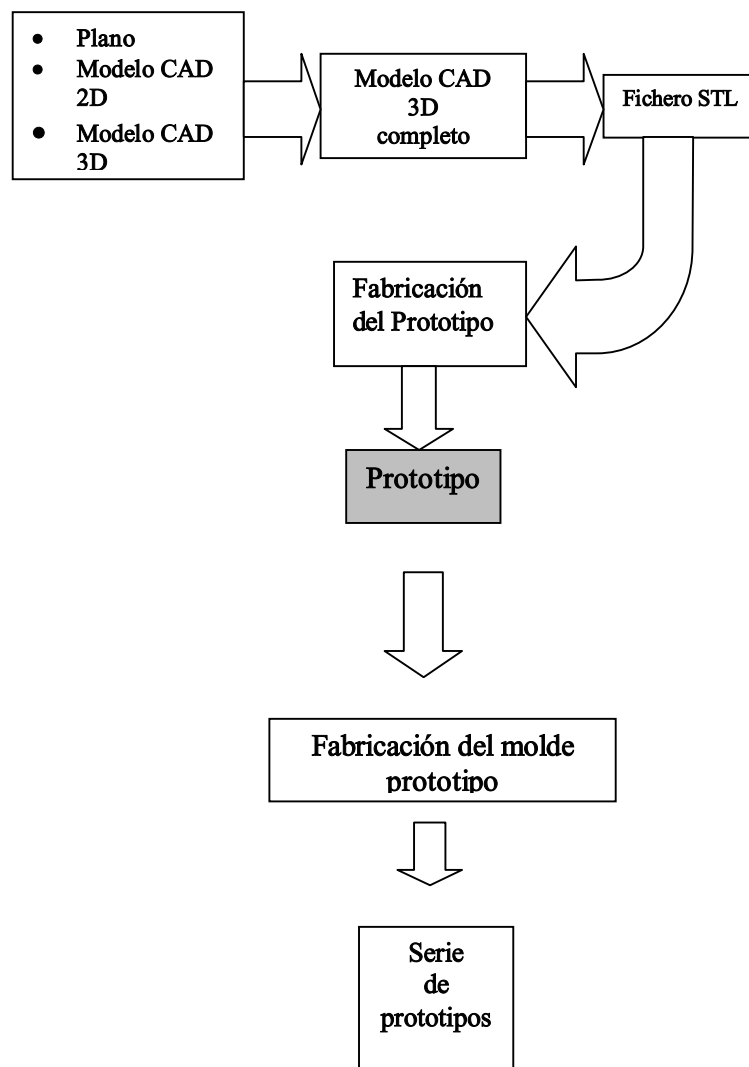


Figura I-17. Esquema de trabajo con Prototipos Rápidos

### 2.3.5. SECTOR DE MERCADO DONDE INTRODUCIR LOS PROTOTIPOS

Se investiga sobre el sector de mercado en el que está incluida nuestra tecnología, su potencial, facturación, etc.

Nuestra tecnología pertenece al campo del prototipado rápido y por lo tanto habrá que hacer un estudio del mercado que puede abarcar dicho campo. En este caso se ha realizado un estudio más concreto de la población de Ibi, ya que es donde se ubica AIJU, y por lo tanto se ha de tener en cuenta un importante sector como es el juguete.

Para realizar el estudio de mercado de las tecnologías que permitan la realización de prototipos de moldes que van a ser aplicables a un proceso de transformación de plásticos se debe tener en mente los restantes procesos en el sector del juguete, que son:

- Soplado.
- Moldeo rotacional.
- Termoconformado.
- Inyección de Zamak.
- Molde prototipo.
- Inyección de series largas.

Las tecnologías de producción mencionadas arriba suponen el 59% de los procesos de fabricación en la industria del juguete.

### VALIDACIÓN COMERCIAL

Existen varios sectores que pueden mejorar sus procesos de fabricación mediante el uso de Prototipos.

Los sectores industriales que serán usuarios potenciales de la tecnología SLS son tres:

- El sector juguetero español.
- El sub-sector metal-mecánico, que destina sus labores a la fabricación de moldes para las empresas del sector juguetero
- Empresas de inyección de plásticos, subcontratadas en muchas ocasiones por empresas de juguetes para realizar gran parte del proceso productivo.

Analizando las características de los moldes-prototipos y la fabricación de prototipos, se llega a concluir que se necesita una técnica que cubra las siguientes necesidades que este proceso no posee o que se puedan mejorar

- Ø Creación del número máximo de prototipos.
- Ø Creación de prototipos en el menor tiempo posible
- Ø Creación de los prototipos con el material real de producción para la realización de ensayos.



- ∅ Posibilidad de estudio y ensayo del molde- prototipo.
- ∅ Estudio sobre el proceso real de fabricación.

Como conclusión, la necesidad de disponer de prototipos que nos permitan testar el comportamiento físico y de mercado de los nuevos productos que una empresa desea desarrollar es un hecho incuestionable en la actualidad, por lo tanto la necesidad de obtener series de prototipos con métodos más baratos y rápidos aumenta del mismo modo. Queda determinado así que la técnica de fabricación rápida es precisa y satisface muchas de las necesidades demandadas por el mercado.

## 2.4. ESTADO DEL ARTE DE LA TECNOLOGÍA DE PROTOTIPADO

### 2.4.1. HISTORIA Y FUNDAMENTOS

La tecnología del prototipado rápido ha sido creada a partir dos áreas técnicas: Topografía y Fotoescultura, apoyándose además en el diseño por ordenador. Los países que más han influido en su creación han sido EEUU, Japón, Alemania y Francia.

A continuación enunciamos cronológicamente los datos bibliográficos en los que estas áreas técnicas hacen referencia al prototipado.

#### - Topografía

Las documentaciones muestran que en 1890 [17], Blather creó un método para crear mapas en relieve. El método consistió en utilizar los perfiles determinados de un mapa obtenidos mediante una serie de láminas de cera, tal como se ve en la figura I-18.

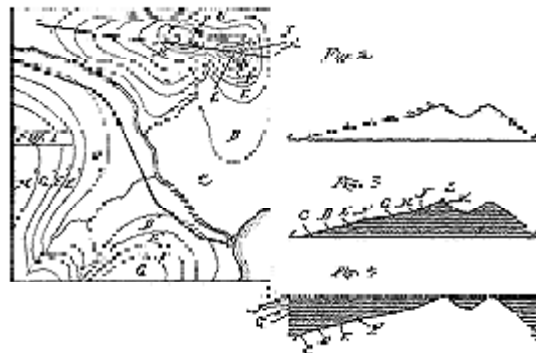


Figura I-18. Método Blather para crear mapas en relieve

Los métodos de la topografía fueron depurándose hasta lograr métodos altamente sofisticados.

En 1974, Matsubara de la compañía Mitsubishi Motors propuso un sistema de topografía usando materiales foto-endurecibles [18]. En este proceso una resina fotopolimerizable es recubierta con partículas refractarias (grafito, arena...) las cuales son proyectadas sobre ella, calentándolas posteriormente hasta compactarlas. Mediante un haz de luz de vapor de mercurio, solidifica una determinada sección.

En 1974, DiMateo utilizó esta misma técnica para reproducir superficies complejas, que en aquella época eran de difícil mecanización: turbinas, hélices, colectores hasta matrices de embutición [19].

En 1979, el profesor Nakagawa de la Universidad de Tokio usó las técnicas de laminación para producir útiles de embutición y conformación [20]. En 1984 produjo el primer molde de inyección mediante este método. Cabe destacar que ya hizo mención de la posibilidad de crear los llamados "Conformal Cooling" para circuitos de refrigeración.

#### - Fotoescultura

Sus inicios se centran a principios del siglo XX, como inquietud de crear exactas réplicas tridimensionales de objetos, incluyendo formas humanas.

Una de las tecnologías más exitosas fue la creada por François Willeme de origen francés, en 1860. En este método se partió de una habitación de forma circular donde simultáneamente se fotografía a un individuo mediante 24 cámaras. Cada una de las siluetas fotografiadas fue utilizada por un modelista, como una vigésimoctava parte cilíndrica de la figura, para esculpir así el busto completo.

#### - Técnicas híbridas entre la fotoescultura y la topografía

En 1935, el profesor Morioka de Japón desarrolló una técnica híbrida entre la Fotoescultura y la Topografía [21]. Este proceso usó una estructurada luz (bandas de luz blanca y negra), creando los perfiles de las secciones de cada capa.

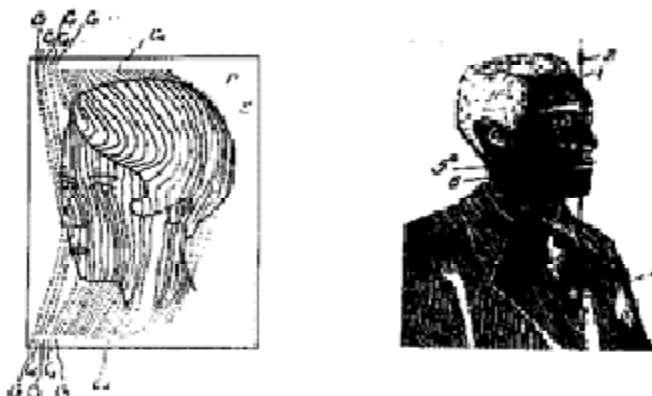


Figura I-19. Proceso para fabricar objetos en relieve mediante la técnica de Morioka, en 1944

En 1951, Munz propuso un sistema que ha dado paso a la técnica actualmente conocida como "Estereolitografía". Desarrolló un sistema capaz de exponer selectivamente una emulsión transparente fotosensible, depositada en capas. Cada una de estas capas procedía de una sección de un objeto escaneado. Al solidificar todo el conjunto de secciones el resultado final era un cilindro transparente que contenía todas las secciones solidificadas, procediéndose a su extracción manualmente. En la figura I-19 se esquematiza el proceso.

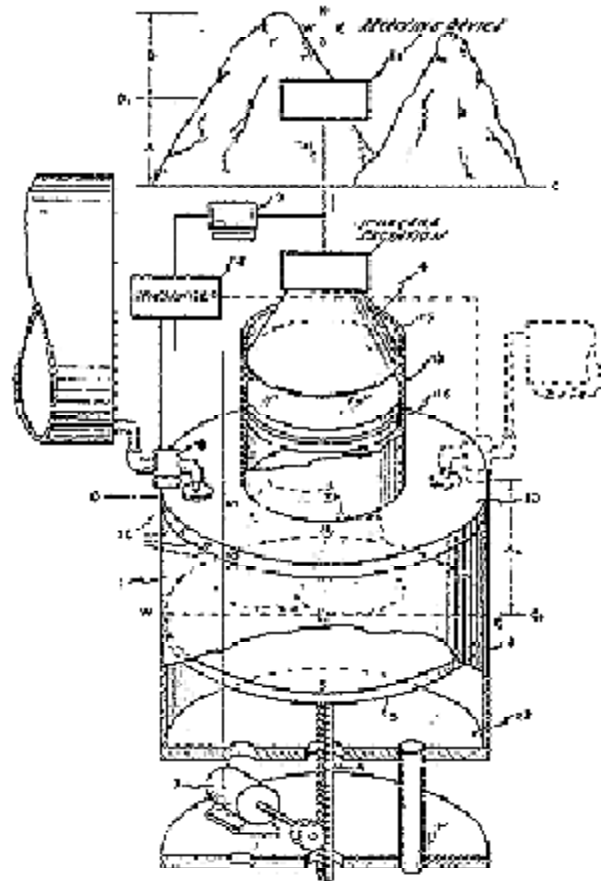


Figura I-20. Proceso de Munz, 1956, para reproducir objetos tridimensionales a partir de una imagen

En 1968, Swainson propuso un proceso de fabricar piezas en plástico directamente a partir de la polimerización selectiva de un polímero fotosensible a través de la intersección de dos haces de láser [22].

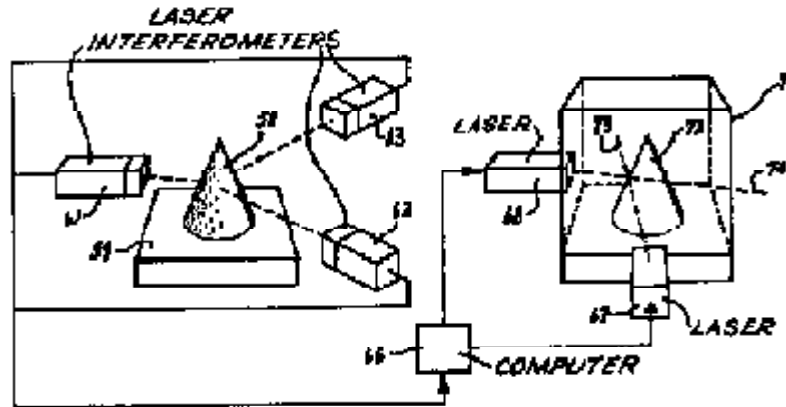


Figura I-21. Proceso Fotoescultura de Swainson, 1977, a partir de la intersección de dos láseres.

En 1971, Ciraud utilizó un proceso mediante haz de láser para fabricar objetos en gran variedad de materiales pero que fuesen soldables. Calentándolas previamente mediante una fuente magnetoscópica o electrostática son solidificadas por un haz de láser selectivamente, añadiéndose entre ellas por capas [23].

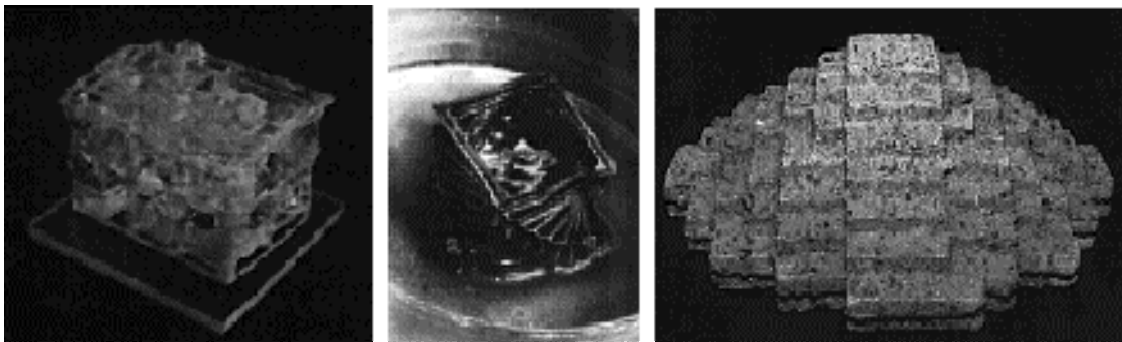


Figura I-22. Objetos procesados mediante la técnica de Ciraud

Finalmente en 1982, Herbert de la compañía 3M Corp. describió un sistema que a través de un ordenador comanda un haz láser de ultravioleta, con un sistema de espejos controlándolos en X e Y e incidiendo sobre un polímero fotosensible [24]. Cada capa de polímero, en estado líquido, se añadía posteriormente a su solidificación.

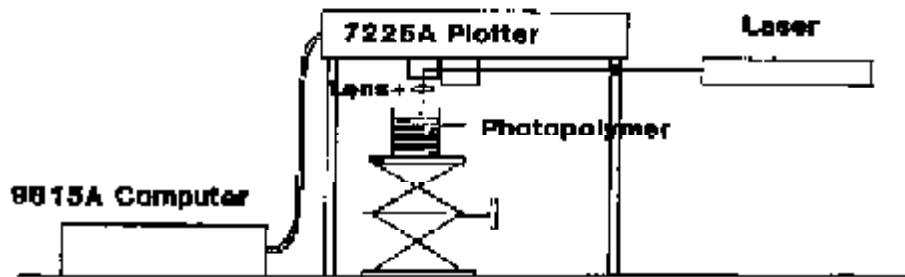


Figura I-23. Proceso fotopolimerizable de Herbert 1982

Las primeras piezas u objetos fabricados mediante estas tecnologías datan de 1979 aproximadamente, siendo Housholder, Herbert y Kodama los pioneros.

A continuación se expone un resumen de los desarrollos comerciales y procesos aplicables referentes a las técnicas de prototipado rápido. En las siguientes tablas I-6y I-7 se exponen los desarrollados en EEUU, Europa y Japón, y por último en la tabla I-8 un esquema general de la historia de cómo aparece el proceso de prototipado.

Empresa	Proceso	Inicio	Lanzamiento de tecnología	Observaciones
Aaroflex	Estereolitografía	1995	-	Licencia de Dupont
BPM	Chorro de tinta	1989	1995	
DTM	Sinterizado selectivo por laser	1987	1992	Funcionó como oficina de servicios desde 1990-93
DuPont Somos	Estereolitografía	1987	-	Concesión a Teijin Seiki 1991, Aaroflex 1995
Helisys	Objetos laminados	1985	1991	Fundada como Hydronetics
Light Sculpting		1986	-	Funcionó como oficina de servicios
Quadrax	Estereolitografía	1990	1990	Tecnología adquirida por 3D en 1992
Sanders Prototyping	Chorro de tinta	1994	1994	Desarrollado parcialmente por E-Systems
Solgen	Impresión en 3D	1991	1993	Funcionó como oficina de servicios
Stratasys	Deposición fundida	1988	1991	
3D Systems	Estereolitografía	1986	1988	Primer lanzamiento comercial de equipos

Tabla I-6. Cronología de desarrollos comerciales de RP (EEUU)

Empresa	Proceso	Inicio	Lanzamiento de tecnología	Observaciones
CMET	Estereolitografía	1988, Japón	1990	
Cubital	Fotosolidificación	1987, Israel	1991	
Denken	Estereolitografía	1985, Japón	1993	
DMEC	Estereolitografía	1990, Japón	1990	
EOS	Estereolitografía, Sinterizado selectivo por láser	1989, Alemania	1990	
Fockele & Schwarze	Estereolitografía	1991, Alemania	1994	Oficina de servicios desde 1992
Kira	Objetos laminados	1992, Japón	1994	
Meiko	Estereolitografía	1991, Japón	1994	
Mitsui	Estereolitografía	1991, Japón	1991	
Sparx	Objetos laminados	Suecia	1994	Maquina de gomaespuma
Teijin Seiki	Estereolitografía	1991, Japón	1992	Licencia de DuPont
Ushio	Estereolitografía	Japón	1994	

Tabla I-7. Cronología de desarrollos comerciales de RP (Europa y Japón)

A continuación, en la Tabla I-8 un resumen de la cronología general de la aparición de las diferentes técnicas

	TOPOGRAFIA		FOTOESCULTURA
Blather, patente registrada	1890	1860	Willeme, fotoescultura
Perera, patente registrada	1937	1902	Baese, patente registrada
Zang, patente registrada	1962	1922	Monteah, patente registrada
Gaskin, patente registrada	1971	1933	Morioka, patente registrada
Matsubara, patente registrada	1972	1940	Moriola, patente registrada
DiMatteo, patente registrada	1974	1951	Munz, patente registrada
Nakagawa, fabricación laminada de herramientas	1979		
	1968		Swainson, patente registrada
	1972		Ciraud, descubrimiento
	1979		Housholder, patente registrada

---

1981	Kodama, publicación
1982	Herbert, publicación
1984	Marutani, patente registrada; Masters, patente registrada; Andre, patente registrada; Hull, patente registrada
1985	Helisys, fundación Denken, inicio
1986	Pomerantz, patente registrada; Feygin, patente registrada; Deckard, patente registrada; 3D, fundación; Light sculpting, fundación
1987	Fudin, patente registrada; Arcella, patente registrada; Cubital, fundación; DTM, fundación; DuPont Somos; inicio.
1988	3D, primer lanzamiento de tecnología; CMET, fundación; Stratasys, fundación
1989	Crump, patente registrada; Helinski, patente registrada; Marcus, patente registrada; Sachs, patente registrada EOS, fundación; BPM, fundación
1990	Levent, patente registrada; Quadrax, fundación; DMEC, fundación
1991	Teijin Seiki, inicio; Fockele & Schwarze, fundación; Soligen, fundación; Meiko, fundación; Mitsui, inicio
1992	Penn, patente registrada; Quadrax, adquirido por 3D; Kira, inicio
1994	Sanders Prototype, inicio
1995	Aaroflex, inicio

Tabla I-8. Cronología de la historia a del prototipado

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS

---



## CAPÍTULO II. OBJETIVOS

Actualmente existen en el mercado diferentes herramientas y diferentes tipos de prototipos, pues está muy de moda su uso como complemento en el desarrollo de productos.

Así, nos encontramos con gran variedad de ofertas tecnológicas que a su vez son muy novedosas. Han aparecido en el mercado y evolucionado con gran rapidez, no dando tiempo a la industria a asimilar sus prestaciones por lo que hay sectores que no han incorporado correctamente estas tecnologías, bien por desconocimiento y bien por mala práctica.

Según los datos que disponemos de otras investigaciones, enunciadas en los antecedentes, el sector del juguete no ha incorporado las nuevas tecnologías de fabricación de prototipos; es un sector que utiliza varios procesos de fabricación en los que se podrían aplicar estas técnicas, pero primero hay que evaluar cómo se desarrollan los nuevos juguetes y ver en qué fases de esa metodología se pueden aplicar los prototipos.

Así, podremos resumir cronológicamente estos cuatro objetivos:

1º.- Seleccionar la técnica de prototipado rápido mas útil para el sector del juguete teniendo en cuenta las características del sector y de los procesos de fabricación utilizados.

Con el alcance de este objetivo también se obtendrá una visión global de las técnicas de fabricación de prototipos y sus posibles aplicaciones y limitaciones, en función de las características del artículo a fabricar o de la utilidad de éste. Estas clasificaciones a su vez permitirán disponer de información complementaria para otros sectores afines que utilicen los mismos procesos de fabricación.

Una vez escogida la técnica mas apropiada, se estudiara el proceso que utiliza para fabricar diferentes tipos de prototipos, bien para obtener "artículos"o para obtener herramientas o moldes que con otros procesos complementarios darían lugar a "serie de artículos". También hay que tener presente que los procesos de fabricación de estas técnicas están en continua investigación, no estando comprobados experimentalmente en teoría algunos de los que indican las casas comerciales, y los procedimientos de trabajo no están validados. Por lo tanto en un primer estudio del proceso habrá que validar las características experimentales expuestas por los propietarios de la tecnología y se determinarán las características más importantes del proceso.

2º.- Estudiar, validar y comprobar sus prestaciones y posteriormente investigar, desarrollar y optimizar los parámetros críticos del proceso.

Después de estudiar las prestaciones y características de uso del proceso seleccionado, hay que verificar su aplicación en la fabricación de juguetes, en las diferentes fases que pueden intervenir los prototipos, esto es, desde que se tiene la idea de un nuevo diseño hasta que se obtienen piezas para presentarlas en ferias y además deben de realizarse en poco tiempo y con

la calidad necesaria. Se pretende comprobar si será válida para la fabricación de juguetes, en general, y en particular si se puede usar en las etapas del proceso de transformación del plástico, que es el proceso más utilizado en la fabricación de los juguetes.

Así, se estudiará el uso en la fabricación de los diferentes tipos de procesos, principalmente el uso para la elaboración del molde que es la etapa más crítica para la fabricación del juguete. En consecuencia se propone el siguiente objetivo.

3°.- Estudiar las variables experimentales del proceso y analizar cómo influye cada uno de éstos en las propiedades de los prototipos y comprobar la posibilidad de aplicar la tecnología en los procesos de fabricación de moldes-prototipo para juguetes.

El proceso mas comúnmente utilizado en la fabricación de plásticos es el de Inyección, por lo tanto se requiere un estudio detallado de adecuación de las prestaciones de la tecnología para fabricar piezas y adaptación para obtener un molde de inyección. Teniendo presente que no hay resultados de cómo obtener los moldes-prototipos con técnicas rápidas, será necesario el estudio del uso de la tecnología para la fabricación de moldes-prototipos para inyección.

4°.- Obtener una metodología de desarrollo de moldes prototipos para inyección, solucionando las limitaciones que han evitado que se pueda utilizar con resultados aceptables.

Paralelamente a la consecución de estos objetivos enfocados a resolver unas necesidades del sector juguetero, se obtendrá información que puede ser útil para otros sectores que utilizan los mismos procesos de fabricación como los moldistas, transformadores de plástico en general y en concreto los sectores de electrodomésticos, menaje de hogar o automoción.

## CAPÍTULO 3

### MATERIALES Y METODOS

---

## CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

### 1. PLAN DE TRABAJO

Los antecedentes nos han permitido detectar las limitaciones en medios humanos y tecnológicos y las necesidades del sector del juguete, en lo referente a la incorporación de las nuevas tecnologías y cómo incorporarlas en el desarrollo de los artículos. Así, para cubrir esas carencias surge la presente tesis con los objetivos enunciados anteriormente.

Hay que tener presente que el sector del juguete, por las características del proceso de fabricación y la corta vida de los artículos diseñados, necesita unas técnicas para fabricar que le permitan reducir los costes del proceso sin perder en la calidad del producto final.

El mercado presenta gran variedad de tecnologías, que están en continua evolución y en un entorno muy competitivo no dando tiempo de madurar ni de conocer en profundidad sus prestaciones y limitaciones. A esta dificultad uniremos la que se presenta porque cada fabricante utiliza una terminología diferente para describir los procesos o los modelos de prototipos que fabrican.

Como existe una gran confusión que ocasiona un mal uso de estas técnicas, el inicio de la tesis es estructurar y analizar cómo se desarrolla un juguete, desde que se tiene una idea hasta que se convierte en artículo con valor lúdico. En este proceso intervienen varias etapas, que además no son siempre las mismas. Dependiendo de las características del artículo se utilizan unas u otras y se trata de clasificarlas y ver cómo se puede optimizar con la incorporación de los prototipos, que en teoría dan lugar a una reducción del tiempo de fabricación y por lo tanto de los costes del proceso.

Por lo tanto hay que determinar en esas fases cómo intervienen los prototipos y qué modelo de prototipo o técnica de fabricación de éstos es más apropiada, hay que localizar, estudiar y clasificar los tipos de prototipos y las técnicas de fabricación, así como definir y aclarar las terminologías utilizadas. Para cumplir los objetivos de esta investigación, previamente hay que identificar las técnicas de fabricación de prototipos presentes en el mercado, las prestaciones y requisitos de cada una de ellas.

Una vez identificadas las necesidades del sector, las metodologías del proceso de fabricación y las técnicas de prototipado rápido se estará en condiciones de seleccionar qué tecnología de prototipado es la más apropiada para este sector. La selección de la técnica hay que comprobarla y validarla en la práctica. Por tanto, primero se requiere hacer un estudio del proceso seleccionado, del fundamento de la tecnología que nos permitirá determinar qué variables experimentales hay que utilizar para la validación en la fabricación de juguetes.

También se expondrán brevemente los diferentes materiales susceptibles de ser utilizados y sus características, ya que afectan directamente al proceso y al tipo de pieza que se desea obtener,

así mismo se seleccionarán los materiales y las variables experimentales que consideramos que más influyen en la fabricación de prototipos para juguetes.

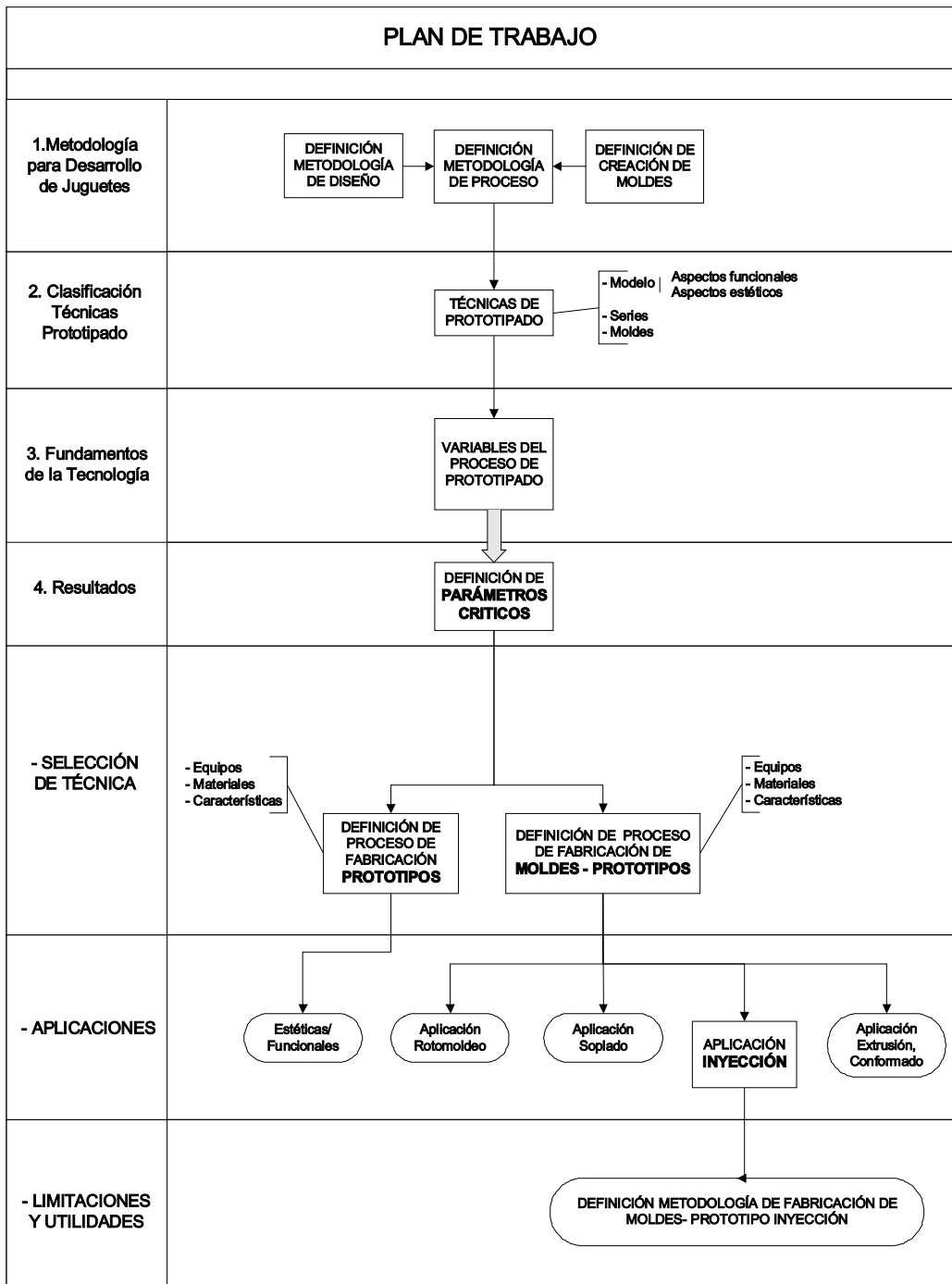
Se considerarán por separado los procesos de fabricación de prototipos y de fabricación de moldes-prototipo, pues como se ha dicho son procedimientos diferentes, y por lo tanto sus limitaciones son también diferentes.

Dado que el proceso de obtención de moldes-prototipo es el más complicado y del que no se obtienen datos publicados ni procedimiento de operación para la obtención de ellos por las técnicas rápidas, será necesario realizar una investigación previa de este proceso, y así, a la vez que se realiza la "validación de la tecnología", también se pretende obtener un "procedimiento" de trabajo para la fabricación de moldes-prototipo para inyección que es una parte totalmente novedosa, no habiendo método y además es muy útil en el proceso de desarrollo de los juguetes.

Las novedades que serán obtenidas a partir de los objetivos propuestos están resumidas en los siguientes puntos:

- Selección, Validación-Verificación de la tecnología más apropiada para el sector del juguete.
- Estandarización del proceso de desarrollo de prototipos y obtención de los mismos.
- Optimización de las limitaciones y ventajas de la técnica seleccionada.
- Obtención las condiciones de trabajo o Procedimiento de operación para fabricar moldes-prototipo de inyección en función de las características del molde que se necesite (complejidad de la figura, tamaño, acabado superficial, resistencia, etc.).

En el siguiente esquema se resume el plan de trabajo:



A continuación desglosamos el plan de trabajo en las etapas que formarán los capítulos a estudiar en esta tesis.

## 1.1. METODOLOGÍAS PARA EL DESARROLLO DE JUGUETES

La primera etapa servirá para la determinación, análisis de las fases y de los medios que utiliza el sector en cada una de ellas y se localizarán en estas fases qué técnicas se pueden utilizar. Así, se estudiará en este capítulo cómo se pueden obtener los diseños de un juguete a partir de una "idea" y como obtener las piezas definitivas. En concreto se estudiarán los siguientes apartados:

- Fase de planteamiento del diseño.
- Fase de diseño.
- Fase de desarrollo.

## 1.2. CLASIFICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE PROTOTIPADO

Primero se definirán los diferentes tipos de prototipos atendiendo a la gran variedad de clasificaciones existentes. En este estudio consideramos necesario clasificarlos de acuerdo a las tecnologías necesarias para obtener la primera pieza o prototipo o para obtener las series de piezas prototipo, lo que nos conducirá a tener localizadas las técnicas de fabricación de moldes-prototipo que son las que permiten de forma rápida obtener estas series de piezas.

También hay que tener presentes las características del juguete en cuanto al acabado final de la pieza que se desea obtener, como son las decoraciones o la funcionalidad del artículo diseñado. Ello nos llevará a considerar también la posibilidad de obtener los prototipos funcionales y estéticos.

En concreto en este capítulo se analizarán los siguientes apartados:

- Definición y tipos de prototipos.
- Técnicas de prototipado.
- Clasificación de las técnicas.

## 1.3. SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

Consiste en el establecimiento de las condiciones iniciales de trabajo, que serán estudiadas por separado en prototipos de plástico, prototipos de metal y moldes-prototipos.

Se estudiarán y analizarán las características de la técnica, se determinarán las variables que son críticas para conseguir los objetivos propuestos, con objeto de seleccionar entre los equipos presentes en el mercado que utilizan esa tecnología cuál es el más apropiado.

Con el equipo de prototipado ya seleccionado, se estudiarán sus posibilidades para adecuarlas a las necesidades planteadas. Ello supondrá, primero, conocer en profundidad las características instrumentales de la maquinaria, los materiales que puede utilizar y la puesta a punto o verificación de las prestaciones teóricas enunciadas por la marca comercial propietaria de la tecnología y los resultados experimentales en cada caso, para así poder obtener las condiciones de operación óptimas.

En resumen en este capítulo se ven los siguientes apartados:

- Comparación de las tecnologías existentes.
- Descripción del equipo utilizado.
- Materiales que se pueden utilizar.
- Condiciones experimentales seleccionadas.

#### 1.4. FUNDAMENTO DE LA TECNOLOGÍA SELECCIONADA

Se analizará cómo se obtienen los diferentes tipos de prototipos con el uso de la tecnología propuesta, qué procesos intervienen y cómo se obtienen los que son necesarios para la fabricación de juguetes.

Se definirá la relación de los parámetros del proceso con las características de los artículos a fabricar. Se estudiarán en tres grupos y en orden a la complejidad. Así, secuencialmente, se irán incorporando las variables que van completando el proceso. Se iniciará el estudio de los parámetros por separado, primero para la obtención de prototipos de plástico, después para obtener prototipos de metal y, como los moldes-prototipo son en metal, al estudiar el metal ya están estudiadas las características para la fabricación de moldes-prototipo en general.

Posteriormente se centrará el estudio en el proceso de obtención de moldes-prototipo para inyección, para lo que se incorporarán las variables propias de la inyección.

Debido a que hay materiales novedosos y no se conoce su comportamiento en condiciones de uso habituales en los equipos, ni en los tratamientos posteriores, se incluirán tareas de búsqueda de las variables experimentales y de técnicas auxiliares para mejorar y facilitar el desarrollo de piezas con cavidades y piezas con decoración.

La validación del uso de la tecnología en los procesos de fabricación de juguetes probará su utilidad en la fabricación de los tipos de moldes utilizados para obtener juguetes, siendo los más representativos: moldeo rotacional, conformado, soplado, inyección de zamac e inyección de plástico.

Considerando los puntos críticos y las limitaciones de la tecnología, que según los estudios previos, están principalmente en la fabricación de piezas metálicas y por lo tanto en la obtención de moldes-prototipo, y como los moldes que más se utilizan para fabricar un juguete son los de inyección, se hace necesario hacer un estudio aparte para este proceso.



A continuación se resumen los procesos como serán estudiados:

- Fabricación de prototipos
- Fabricación de molde-prototipo
- Fabricación molde-prototipo para inyección

## 1.5. ANÁLISIS DETALLADO DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE MOLDES-PROTOTIPO PARA INYECCIÓN

Teniendo en cuenta la relación de las características del proceso con los requisitos de los moldes, se obtendrá un procedimiento de trabajo con las variables que hay que ajustar dependiendo de la pieza que se desea fabricar. También se obtendrán las limitaciones de la técnica.

Este estudio requiere investigar otros aspectos además de los propios del proceso y son los siguientes:

- Estandarización de la base portadora del molde para su inclusión en la inyectora.
- Optimización de los procesos de preparación de los moldes.
- Fabricación de los insertos.
- Validación de los moldes obtenidos.
- Inyección de piezas.

A continuación se expone detalladamente cómo se desarrollarán estos apartados:

- Estandarización de la base portadora del molde sinterizado para su inclusión en la máquina de inyección.

Las piezas que se obtendrán serán insertos metálicos, los cuales se adaptarán a una placa portamoldes y a un molde base para poderse inyectar posteriormente. Para optimizar todo este proceso es necesario reducir al máximo el número de variables incontroladas por los usuarios del sistema, por lo que es indispensable diseñar unos portamoldes y un molde base standard. Es decir, con una serie de características concretas (punto de inyección, ángulos de acople en los portamoldes, sistema de refrigeración, dimensiones...) que se adecuen a las máquinas de inyección convencionales para poder inyectar posteriormente. Una vez diseñadas estas piezas estándar se fabricarán los insertos metálicos siempre con esas características externas para acoplarlos al portamoldes estándar desarrollado, sea cual sea el inserto a obtener.

- Optimización de los procesos de fabricación de molde.

Consistirá en obtener un método de fabricación del molde-prototipo, teniendo presente las etapas que intervienen en el desarrollo de uno convencional. En esta investigación se estudiará el diseño del molde: la refrigeración, los puntos de inyección, ángulos de desmoldeo, contracción del material y posibilidades geométricas.

- **Fabricación de los insertos.**

Se estudiarán las variables de la tecnología a seleccionar para fabricar los prototipos y cómo éstas afectan a la construcción del molde, y serán estudiadas en concreto fabricando los "insertos".

En este apartado se definirán las geometrías y los tratamientos posteriores que pueden incorporarse al molde.

- **Validación de los moldes obtenidos.**

Incluye la comprobación de la durabilidad de los moldes y validez de las piezas inyectadas con distintos plásticos.

Otro aspecto a considerar es el grado de pulido necesario a aplicar en un molde en función del material final de inyección ya que esto repercutirá directamente en el tiempo de desarrollo del producto (más o menos tiempo dedicado al acabado/pulido del molde) que repercute económicamente por la mano de obra empleada.

En función de los resultados obtenidos y empleando para ello los parámetros optimizados, tanto del molde como del material a inyectar, se estudiará la durabilidad de los moldes en series largas y cortas.

Las tareas a realizar son:

- Acabado o pulido superficial de los moldes mediante la técnica anteriormente seleccionada.
- Acople de los moldes a las placas portamoldes y al molde base. Pruebas de inyección con distintos materiales plásticos.
- Validación de la duración de los moldes y las piezas obtenidas (calidad superficial, etc.), en función del proceso escogido y del material plástico inyectado.
- Selección de variables del proceso.

- **Inyección de diferentes materiales en los moldes obtenidos.**

Finalmente, se comprobará la calidad de los productos obtenidos a partir de la inyección de diferentes materiales plásticos con los moldes anteriormente obtenidos.

En este proceso, por lo tanto, se realizarán pruebas de inyección de distintos moldes con la finalidad de buscar esos parámetros óptimos (temperatura de inyección, presión de inyección, tiempos de inyección y refrigeración, etc.).

## 2. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE JUGUETES

Este apartado tiene como principal objetivo mostrar un análisis pormenorizado de la situación global actual en cuanto a metodologías y gestiones del diseño en el sector del juguete. Conjuntamente a la descripción de cada etapa de los procesos seguidos, se detalla explica el grado de aplicabilidad de cada proceso en el sector, y a su vez se reflejan las desventajas, y de ahí surge la necesidad de adoptar una nueva tecnología que aporte beneficios.

La evolución del sector juguetero se caracteriza por el hecho de que muchas de las empresas y talleres auxiliares fueron creadas por ex-trabajadores, que pasaban a producir partes o componentes para su antigua empresa y/o creaban productos parecidos. Este proceso se fortaleció con la crisis del juguete de los años ochenta, que supuso una reducción del número de trabajadores fijos y un aumento de la subcontratación.

Esta dinámica ha provocado la existencia de empresas jugueteras con productos de propiedades muy similares en calidad y precio, que van dirigidos al mismo segmento de población. La inversión en Diseño de Producto ha sido tradicionalmente insuficiente debido a la mayor rentabilidad de la compra de patentes y la adaptación o imitación de productos nacionales o extranjeros de éxito.

Esta insuficiente inversión en Diseño e Innovación dificulta la adaptación de las empresas jugueteras a las recientes tendencias de mercado, y reduce su competitividad ante la creciente competencia externa. El bajo precio de los productos procedentes de los países asiáticos, la creciente importancia de los aspectos cualitativos y tecnológicos en los juguetes y el mayor peso de la imagen de marca, son algunos de los diversos elementos que inciden en el actual descenso de las ventas y en la pérdida progresiva de cuotas de mercado a nivel europeo. Los datos se han enunciado en el Capítulo I.

A ellos hay que sumar la fuerte dependencia comercial de los fabricantes respecto de las distribuidoras comerciales. Las grandes superficies han ido ganando peso comercial en detrimento de los almacenistas y minoristas, por lo que el nivel negociador de los supermercados ha aumentado considerablemente. La rivalidad entre las empresas impide la consolidación de grupos comerciales fuertes y cohesionados, que podrían negociar en condiciones más ventajosas que la habitual negociación individual entre fabricante y gran superficie.

Las elevadas inversiones en publicidad realizadas por los fabricantes del sector han mitigado parcialmente esta evolución, pero no han solucionado los principales problemas con los que se encontraban.

El subsector de la industria auxiliar del juguete se compone en su mayoría de pequeños o medianos talleres de carácter familiar, dedicados a la matricería y al inyectado de plástico. La dependencia de éstas con el sector juguetero hace que también sufran el problema de la estacionalidad de la producción y de la comercialización del juguete. Dentro de esta industria auxiliar podemos encontrar empresas que producen artículos de venta final, con fabricación de componentes, piezas u otros elementos destinados a otras industrias como automóvil, electrodomésticos, luminarias, etc. En muchas de estas empresas se ha realizado unas elevadas inversiones en tecnología y calidad, motivadas por la necesidad de fabricar bajo esos parámetros si se quiere diversificar en sectores industriales más avanzados.

La metodología seguida en un principio consiste en estructurar y analizar como se desarrolla un juguete, estudiar las etapas que intervienen y como, partiendo de una "idea" o "boceto", se consigue obtener un artículo funcional y con un valor lúdico.

Así, en este apartado trataremos de clasificar esas etapas, ver cómo se llevan a cabo en el sector juguetero y cómo se pueden incorporar las nuevas tecnologías en ellas.

• ESQUEMA DE DESARROLLO DE PRODUCTO

Las industrias jugueteras siguen un proceso genérico en la creación de sus nuevos productos. La creación de un nuevo juguete se puede globalizar en tres fases desarrolladas una tras otra. En el siguiente esquema (figura III-1), se resumen las fases y posteriormente en los apartados de este Capítulo se describe el desarrollo de las mismas.

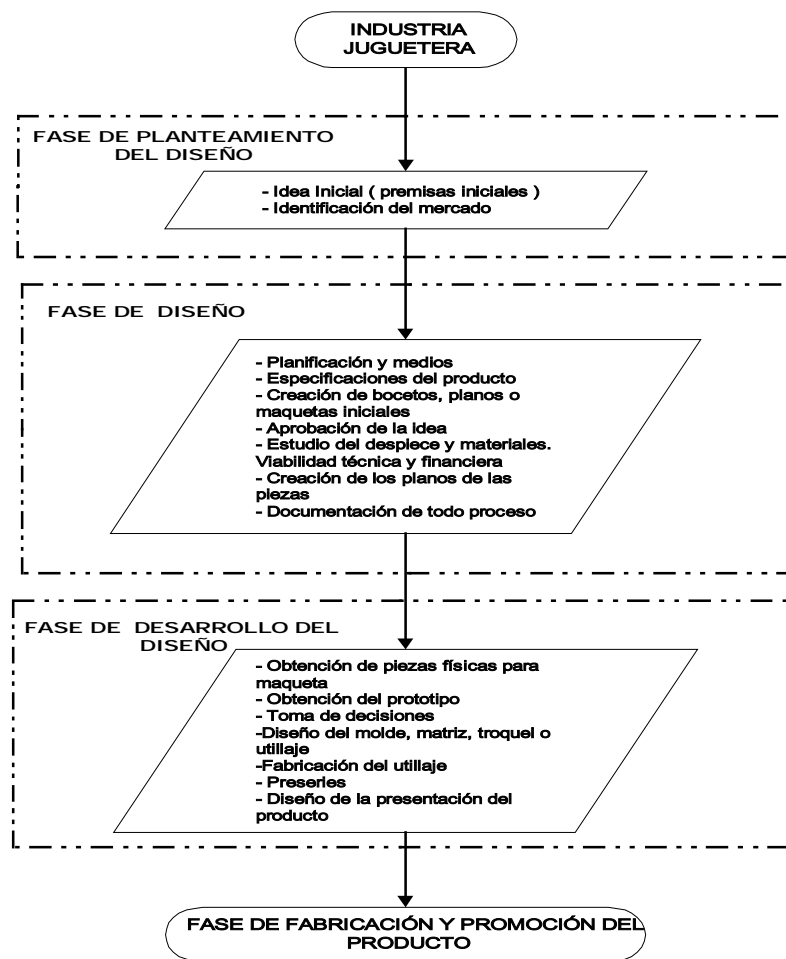


Figura III-1

El esquema de subcontratación en el proceso de creación de nuevos productos se refleja en la figura III-2:

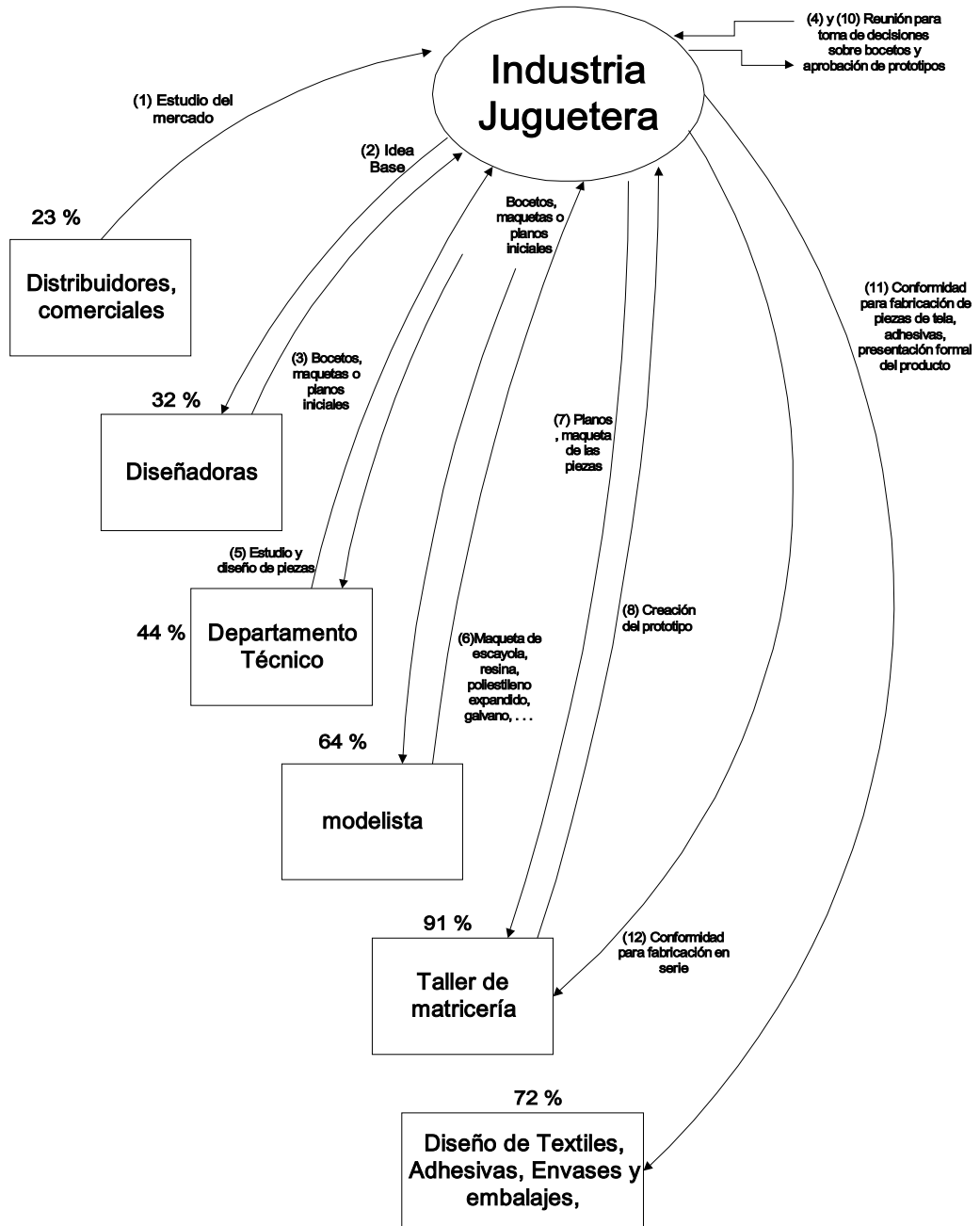


Figura III-2. Proceso creación juguetes

## 2.1. FASE DE PLANTEAMIENTO DE DISEÑO

### 2.1.1. IDEA INICIAL

Todas las industrias del sector juguetero necesitan innovar sus productos para adaptarse a los cambios de gusto y necesidades de los consumidores.

Esta innovación se realiza bien mediante la evolución de sus líneas de juguetes, o bien mediante la creación de nuevas líneas surgidas para adaptarse a las tendencias marcadas por el mercado.

La industria del juguete innova sus productos anualmente en un 38%. Es decir, más de un tercio de los productos que salen al mercado anualmente son novedosos [6].

De este 38%, la mitad se reparte entre productos modificados únicamente en su presentación (cambio de adhesivas, color, etc.) o aspecto (añadiendo nuevos accesorios), mientras que la otra mitad son modelos totalmente nuevos.

### 2.1.2. ESTUDIOS DE IDENTIFICACIÓN DEL MERCADO

La necesidad de innovar antes comentada se apoya en unos estudios del mercado (tanto de comerciales, Departamento Técnico, así como de la Gerencia) que algunas industrias jugueteras realizan.

Los estudios de identificación de mercado se pueden concebir a varios niveles.

A un primer nivel, se entiende por continuo testeo de las necesidades de los usuarios, así como realización de encuestas para conocer la tendencia del mercado y gustos de los consumidores, etc. Mientras que a un segundo nivel se entiende únicamente como análisis de las tendencias de los consumidores, basados especialmente sobre los datos de los productos con mayor acogida.

Por otra parte, existe un tercer grupo de empresas que innovan sus productos a partir de consideraciones internas sin realizar estudios de mercado propiamente dichos. Este grupo de empresas es el más numeroso tal y como puede observarse en el cuadro (tabla III-1).

Se detecta la existencia de pocas empresas que realicen estudios para conocer las pautas y tendencias que vendrán marcadas por el mercado. Este tipo de empresas se encuentran a la cabeza de las innovaciones, mientras que el resto de las empresas se adaptan mejor a los cambios en función del mercado.

Asimismo, las empresas con mayor tamaño son las que más conciencia tienen respecto a la necesidad de innovar y realizan fuertes inversiones en el estudio del producto y en la presentación publicitaria del mismo. Con la inversión en esta fase se pretende minimizar los riesgos de fracaso del nuevo producto.

El siguiente cuadro refleja el nivel en la gestión de la innovación en las empresas jugueteras.

Nivel de innovación	Porcentaje
No innova	8%
Innova a nivel interno	60%
Innova a través de requerimientos del mercado	20%
Innova a través de estudio del mercado	12%

Tabla III-1. Porcentaje de empresas por nivel de innovación.

## 2.2. FASE DE DISEÑO DEL PRODUCTO

### 2.2.1. PLANIFICACIÓN Y MEDIOS

En esta fase las empresas comienzan a realizar un estudio de planificación genérico de cómo va a realizarse el proyecto. En este estudio se consideran los recursos con los que se cuenta así como los que hay que subcontratar.

La gestión de nuevos productos generalmente recibe poca atención en el análisis del cambio estratégico. La mayoría de los directivos están más ocupados por el cómo, referido a la fabricación, que por el qué, referido a los productos a fabricar.

Generalmente no se realizan ni estudios sobre estructuras de gestión ni auditorias de diseño, debido al desconocimiento de los objetivos que se persiguen con su realización.

La planificación se realiza mediante la aplicación de un saber hacer tradicional, con falta de formación en tecnologías actuales. Ello ocasiona que se actúe de forma tardía, con poca capacidad de antelación a problemas y agobios en la fase de lanzamiento o presentación del producto.

Esto se demuestra porque un 44% de las empresas no disponen de Departamento Técnico y deben subcontratarlo para realizar las tareas de creación de diseños y desarrollo de nuevos productos. Si bien sí que se dispone de personal destinado a controlar la gestión de los modelos con los que se trabaja.

Existe una falta de conocimiento para realizar una previsión del ciclo de vida de un producto, dándose frecuentemente el caso de aparición en los catálogos de productos cuyo ciclo de vida ya se ha cumplido, simplemente por el hecho de que se tienen los medios para su fabricación.

Está muy poco extendida la utilización de medios y programas informáticos para este fin. Se trabajaría en temas como conocimiento de la fase del proceso de fabricación en la que se encuentra el producto, responsable de cada fase, tiempos de realización de la fase, etc.

De hecho, frente al 19% de las empresas que sí planifica, el 81% restante no realiza una planificación a nivel informático.

### 2.2.2. CREACIÓN DE BOCETOS, PLANOS O MAQUETAS INICIALES

A partir de las premisas de la idea inicial, se pasa a la creación de una serie de bocetos de referencia base para elegir inicialmente la línea del producto que se va a seguir. Es decir, se crea una serie de bocetos bien en papel o bien en maqueta con los cuales se crea una primera visión de la forma que va a adoptar el producto.

Estos bocetos pueden consistir desde un dibujo en 2D realizado a mano alzada donde se recogen las líneas básicas e intención de colores, hasta un diseño fotorrealístico en 3D realizado a través de un programa CAD.

### 2.2.3. APROBACIÓN DE LA IDEA

Al igual que la Gerencia de la empresa tiene una participación decisiva en la elaboración de las premisas para la fabricación de un nuevo producto, la Gerencia es la que aprueba la idea una vez ha sido plasmada físicamente mediante un boceto plano y/o maqueta.

Para ello se reunirá con los responsables de la elaboración del boceto, los responsables de desarrollo del prototipo y fabricación del nuevo producto para aprobar y estudiar sus posibilidades de fabricación.

Generalmente se precisan 2 ó 3 reuniones para llegar a un acuerdo y decidir el modelo final ya que siempre surgen ideas que mejoran la anterior y es preferible retocar antes de ponerse a diseñar los planos.

Los criterios empleados en la toma de decisiones no son sistemáticos, pasándose en muy pocas ocasiones de las decisiones orales a su reflejo en un plan escrito y, por tanto, estructurado.

Los criterios de definición de producto y los test están en alza, si bien la sensibilidad de las empresas respecto a este tema muestra grandes diferencias.

En el momento en que se aprueba el diseño, se desencadenan una serie de procesos paralelos a la elaboración del prototipo como son las etapas de diseño gráfico de adhesivas y pintura, así como posibles textiles y otros componentes.

### 2.2.4. ESTUDIOS DE LAS ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

Una vez ha sido aprobado este diseño, hay que tener en cuenta la necesidad de cumplir las normas de seguridad de juguetes. Por ello hay que considerar las premisas de dichas normas en las especificaciones del producto, con el fin de que éste cumpla posteriormente los requisitos exigidos. Este nuevo enfoque en materia de armonización técnica y normalización se realiza mediante la



Directiva 88/378/CEE, la cual define juguete como “Todo producto concebido o manifiestamente destinado a ser utilizado con fines de juego por niños de edad inferior a 14 años”.

Esta Directiva es de obligado cumplimiento desde el 1 de enero de 1990 para todos los juguetes comercializados en la UE. La Directiva contempla que cada Estado miembro realice controles por sondeo de los juguetes que se encuentren en el mercado, a fin de verificar su conformidad con la misma.

La responsabilidad de su cumplimiento recae sobre el fabricante, su representante autorizado o el importador dentro de la Comunidad.

Por esto, desde el punto de vista del diseño el juguete y su envase (o instrucciones de uso o donde quiera que se coloque el etiquetado) deben ser concebidos y diseñados siempre de acuerdo con los requisitos esenciales de la Directiva o con las normas armonizadas, recomendándose en la práctica utilizar como base y guía las normas armonizadas.

## 2.2.5. ESTUDIO DEL DESPIECE Y MATERIALES ASÍ COMO DE LA VIABILIDAD TÉCNICA Y/O FINANCIERA

Dentro de los procesos que se realizan en el Departamento Técnico (u Oficina Técnica) se destaca el estudio del despiece y materiales como parte fundamental en el desarrollo de nuevos productos.

- Una vez decidido el modelo a crear, se comienza a planear cual será la estructura del nuevo producto en cuanto a composición de elementos, materiales de cada una de las piezas a diseñar, e incluso se decide qué técnicas de creación se van a desarrollar para cada una de las piezas.

Esta decisión se toma sobre la base de las limitaciones que puedan existir, al margen temporal de que se disponga, de la necesidad de utilización de ciertas máquinas (por saturación de tareas en otras o en cierto modo para rentabilizarlas). Las técnicas usadas pueden ser muy variadas (desde galvanos, resinas, mecanizados por fresadora o electrodos, digitalizados, diseños directos, estereolitografía, etc.).

- También en este apartado se estudian tanto la viabilidad técnica como financiera. En el apartado de viabilidad técnica se analizan los factores de recursos disponibles, posibilidades de subcontratación, limitaciones de tiempo y maquinaria, e incluso calidad final.
- En el apartado de viabilidad financiera se analiza el presupuesto con el que se inicia el proyecto y se fija el precio con el que debe salir al mercado. Tomando como referencia éste y apoyándose en el tiempo de que se dispone, se realizará el estudio anteriormente comentado.

Actualmente en el sector juguetero se realizan estudios de viabilidad técnica o financiera de forma interna, y no todas las empresas al mismo nivel. Asimismo, sigue faltando la aplicación de una metodología que considere el desarrollo integral del proyecto, con lo que los problemas se solucionan en el transcurso de las diferentes fases provocando retrasos que afectan al coste final del proyecto.

### 2.2.6. CREACIÓN DE LOS PLANOS DE LAS PIEZAS

Apoyándose en el estudio de despiece anteriormente realizado, la Oficina Técnica (tanto interna como subcontratada) comienza a desarrollar los planos de las piezas. Como hemos visto en la fase de planificación y medios, un 30% de las empresas subcontrata este Departamento técnico, mientras que el 70% restante dispone de Oficina Técnica propia.

En este último bloque encontramos que un 80% de éstas trabajan, todavía hoy en día, de una forma tradicional, es decir, empleando planos en formato papel, mientras que el restante 20% trabaja aplicando tecnologías CAD para el desarrollo de estos planos de piezas [5]. Hay que decir que al trabajar con técnicas CAD/CAM se evita la redundancia en algunos procesos con los que más tarde nos encontraremos al hablar del diseño de planos de los moldes.

Las técnicas CAD/CAM tridimensionales, bien mediante técnica de modelado sólido o técnicas de modelado de superficies, permiten disminuir los tiempos de desarrollo de producto en la empresa y diseñar productos bajo la premisa "Time to Market".

Estas técnicas presentan una ventaja adicional, al permitir modificar el diseño instantáneamente sin necesidad de realizar los planos manuales cada vez que hay que retocar alguna parte.

Al subcontratar la Oficina Técnica, se plantean 2 posibles tipos de subcontratación:

- Una empresa diseñadora únicamente (10% de las veces). La ventaja inicial es que prácticamente el 100% de las empresas diseñadoras trabajan con técnicas CAD/CAM.
- La de un taller de matricería que dispone de Oficina Técnica (90 % de las veces). Cuya desventaja inicial es que en el 80% de los talleres de matricería que se subcontratan el Departamento Técnico todavía trabaja de forma tradicional en la elaboración de sus diseños (sin CAD/CAM). Pero por otro lado este mismo taller será el que después trabajará para la elaboración del prototipo y del molde posteriormente.

Los principales problemas de la subcontratación aparecen debido a la diversidad de sistemas CAD/CAM usados. Como consecuencia de la subcontratación, hay una necesidad de utilizar estándares para el intercambio. Hasta ahora, los estándares existentes, como pueden ser VDA o IGES, si bien realizan el intercambio de datos, presentan una gran cantidad de problemas de pérdida de datos, mala traducción, duplicación de tamaño, aparte de las limitaciones que inicialmente poseen como es el no poder trabajar con modelos sólidos.

A estos problemas hay que añadir la diversidad de soportes en los que se puede entregar la información. Además, ya no sólo es necesario disponer del mismo soporte sino que además, hay que coincidir con el mismo sistema operativo (no es el mismo UNIX el de SILICON GRAPHICS que el HEWLETT PACKARD) y las mismas características de formateo y backup.

Los sistemas CAD/CAM usados generalmente en el sector juguetero tanto por Oficinas Técnicas propias de la empresa juguetera como subcontratadas, bien a empresas diseñadoras o bien a talleres de matricería, son los siguientes:

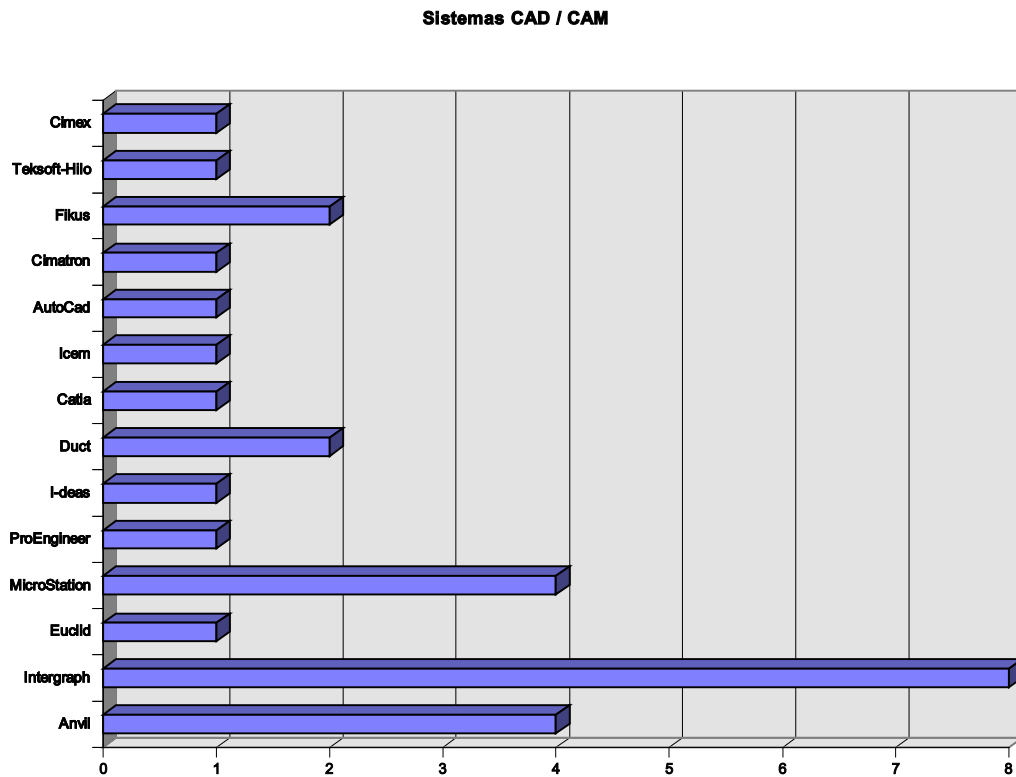


Figura III-3. Sistemas CAD/CAM más usados en el sector juguetero

El elevado uso de Intergraph es debido a actuaciones anteriores en el sector mediante las cuales se introdujeron los sistemas CAD/CAM en las empresas jugueteras.

### 2.2.7. DOCUMENTACIÓN DE TODO EL PROCESO

Una vez se pone en funcionamiento el desarrollo del nuevo producto, hay que comenzar la fase de documentación de éste. Esto significa realizar un control exhaustivo de cada uno de los procesos por los que debe pasar el diseño hasta obtener el producto final, recogiendo todos los datos sobre el producto (planos, especificaciones del producto, despiece y composición de materiales, estudios de viabilidad, etc.).

Esta fase es importantísima, ya que gracias a ella iniciaremos los procesos de control y gestión de todo el ciclo de producción. Con esto conseguimos poder conocer en todo momento en qué parte del diseño nos encontramos, cuántas horas le hemos dedicado, quién ha realizado cada parte. De forma que podamos conocer qué partes en la innovación de nuevos productos nos lleva más tiempo y coste e incluso quién ha sido el responsable en esa sección. También se recogerían datos de los materiales utilizados así como de los procesos de subcontratación: costes y tiempos.

## 2.3. FASE DE DESARROLLO

### 2.3.1. OBTENCIÓN DE PIEZAS FÍSICAS PARA PROTOTIPOS

En esta etapa nos disponemos a plasmar físicamente los diseños realizados con anterioridad mediante la obtención de una maqueta de referencia (prototipo). La obtención de piezas puede realizarse con muy variados métodos dependiendo de los recursos de los que se disponga, además del tipo de piezas y material con el que se vayan a fabricar éstas.

- Para piezas muy complicadas generalmente se realiza una elaboración manual de las mismas a través de modelistas o maquetistas (bien internos o externos). Los materiales usados en esta técnica son madera, cartón, poliestireno expandido, escayola, barro, plastilina, fibra de vidrio, etc.
- Otro proceso consiste en aprovechar los planos en papel de las piezas y crear los programas manualmente para un mecanizado mediante control numérico o para las máquinas de corte por hilo. El material utilizado para la obtención de estas piezas suele ser madera o cobre.
- Otra opción pasa por aprovechar los diseños obtenidos en CAD para generar los programas de mecanizado. Con ellos se obtienen las piezas a través del control numérico o los correspondientes programas para las máquinas de corte por hilo.

El intercambio de información con los talleres subcontratados suele realizarse a través de los planos o de los diseños CAD y nunca sobre los propios programas de mecanizado.

Actualmente se están buscando procesos alternativos a la fabricación de estas piezas a través de las llamadas técnicas de prototipado rápido, principalmente a través de la estereolitografía (para la elaboración de piezas) y de la digitalización láser (para evitar el diseño CAD).

En el siguiente esquema se observan las posibles alternativas de elaboración de las piezas del prototipo.

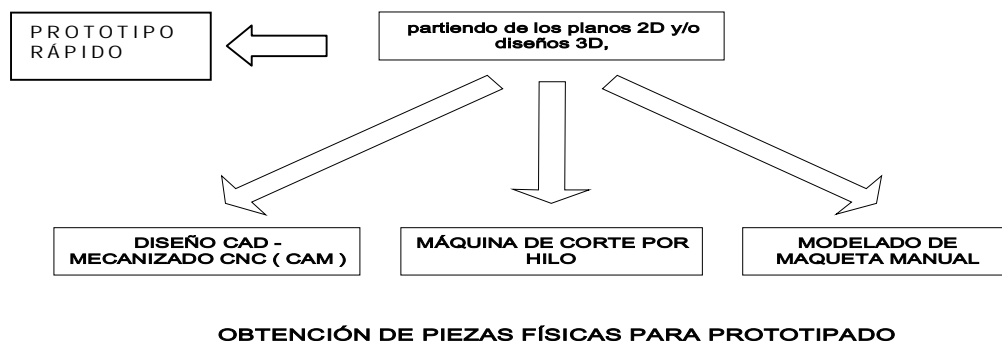


Figura III-4. Esquema de posibles alternativas

En la siguiente gráfica se observan las proporciones porcentuales con las que se trabaja en cada opción:

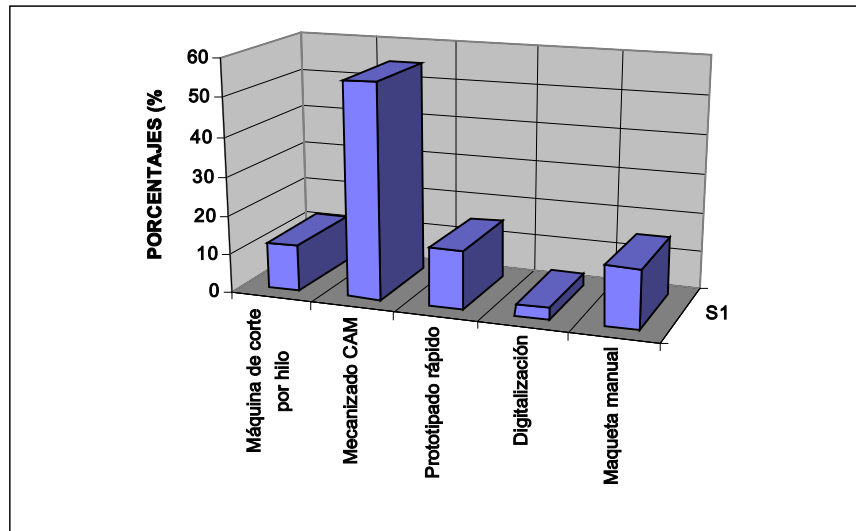


Figura III-5. Posibles opciones de elaboración de prototipos. Porcentajes.

## 2.3.2. OBTENCIÓN DEL PROTOTIPO

### 2.3.2.1. Fundamento

Con el prototipado se pretende disponer de la idea inicial desarrollada plasmándola en un modelo real, es decir, disponer de datos para que la Gerencia pueda realizar un juicio de valor sobre el nuevo juguete. Se evaluarán sus posibilidades antes de pasar a su fabricación en serie y, como tal, en paralelo al diseño y desarrollo de las piezas componentes del prototipo, se realizan labores de diseño gráfico, como son la elaboración de adhesivas y complementos decorativos del producto y de los nuevos envases y embalajes del mismo.

Debemos tener en cuenta que este diseño ha de ser lo más aproximado posible a lo que pretendemos obtener y, por lo tanto, las piezas que hemos obtenido en el apartado anterior serán a escala real.

Actualmente las empresas utilizan la etapa de prototipado como parte del proceso de fabricación, no como evaluación del producto. Existe un alto nivel de calidad en los prototipos realizados, si bien se realizan mediante métodos clásicos y convencionales, profundizando poco a poco en campos de aplicación como son prototipado rápido mediante colada bajo vacío, estereolitografía, sinterizado selectivo por láser, digitalización láser y otras técnicas, debido sobre todo al retraso tecnológico en la aplicación de tecnologías CAD/CAM.

### 2.3.2.2. Formatos necesarios para fabricar prototipos

El Prototipaje Rápido exige que la pieza se encuentre en ficheros CAD en tres dimensiones (3D).

Hay varias maneras de llegar al CAD 3D. La forma tradicional es llegar a través de planos en 2D por medio de papel o directamente dibujados con un programa informático. Estos programas informáticos han ido perfeccionándose conforme avanzaba el tiempo, convirtiéndose en una herramienta esencial para cualquiera que quiera desarrollar un producto. De esta forma se pone al alcance de cualquier usuario la creación rápida de una pieza en 3D identificable por una máquina de prototipado rápido, con lo que el desarrollo de productos se ha acelerado de una forma sustancial reduciendo, además, la posibilidad de error.

El CAD 3D puede modelizar los objetos de tres maneras:

- Mediante líneas. Un modelo está representado por puntos conectados entre sí por entidades geométricas simples (líneas) que permiten mostrar el contorno del modelo. No distingue entre sólido y aire, ni conoce las superficies, sólo reconoce puntos. Su ventaja radica en la facilidad de uso.
- Mediante superficies. Es una extensión del sistema anterior con los puntos definidos; este método es capaz de definir matemáticamente las superficies que forman el contorno del modelo, no distinguiendo entre sólido y aire. Ejemplos de programas: CATIA, AUTOCAD, MICROSTATION.
- Mediante volúmenes. Es una representación matemática completa del diseño. Tiene la ventaja de conocer las propiedades sólidas del diseño, como los espesores. Ejemplos de programas: ProEngineer, CADD5, UNIGRAPHICS, I-DEAS, SOLIDEDGE.

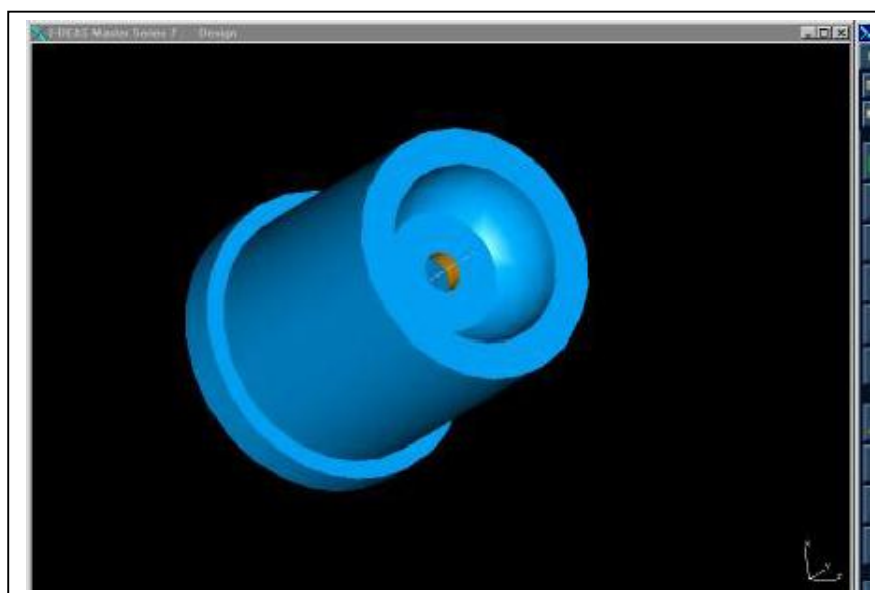


Figura III-6. Diseño 3D en sólido.

El Prototipado Rápido trabaja a partir de las dos últimas modelizaciones: superficies y volúmenes, cada una con sus ventajas e inconvenientes.

▼ Superficies:

- Se adaptan bien a la representación de piezas complejas.
- El intercambio de datos es fácil.
- La conversión a formato STL, es complicada. Se realiza a través del mallado triangular de las superficies.

▼ Volúmenes:

- La conversión al formato STL es muy fácil.
- El intercambio de datos entre sistemas es muy difícil: hay que referirlos a un modelo lineal o superficial con la consiguiente pérdida de información.
- Las formas complejas son difíciles de representar.

Una vez dibujada la pieza en CAD 3D hay que transformar las superficies que encierran el volumen de la pieza a números interpretables por la máquina de prototipaje tal y como se ha comentado antes. Para esto hay que discretizar las superficies del dibujo CAD 3D según un formato determinado.

STL es el formato más extendido en estereolitografía donde empezó su utilización, y también en el resto de tecnologías. Se le puede considerar el formato estándar en Prototipaje Rápido. El sistema de discretización de STL consiste en triangular las superficies que encierran el volumen de la pieza. Los triángulos están orientados, es decir, se conoce qué cara es exterior y cuál interior.

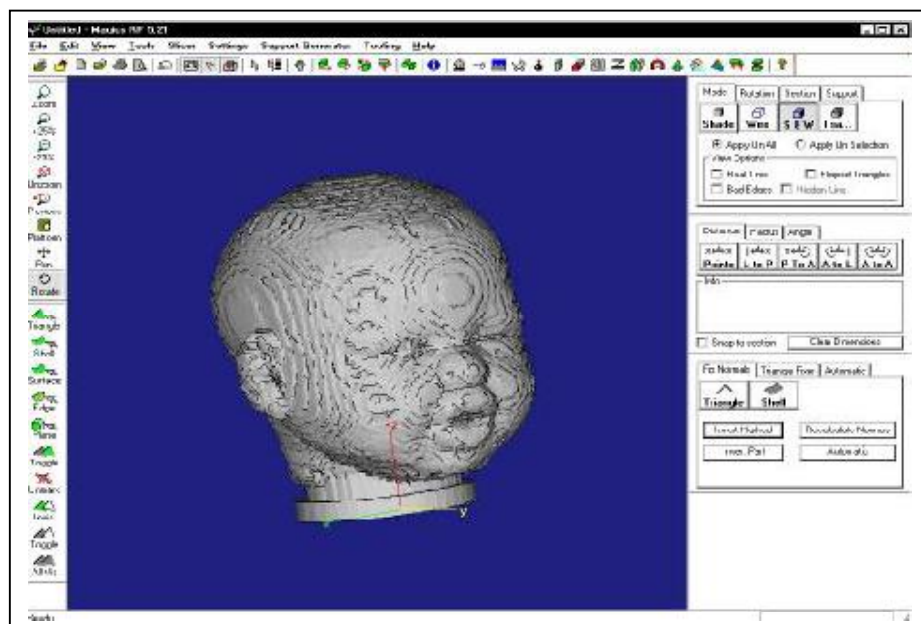


Figura III-7. Diseño en STL.

Este formato tiene una serie de ventajas e inconvenientes:

▼ VENTAJAS

- Es el más extendido.
- Es matemáticamente muy simple, lo que facilita el tratamiento de datos.
- Existen numerosos programas auxiliares, como correctores de errores, generadores automáticos de soportes, etc. que sólo aceptan formatos STL.

▼ INCONVENIENTES

Los inconvenientes del formato STL derivan del gran tamaño de los ficheros informáticos que los contienen:

- Para que la discretización represente con fidelidad la superficie real se requiere un número elevado de triángulos. En particular, las superficies de radios de curvatura pequeños multiplican el número de triángulos.
- Una vez se ha discretizado mediante triángulos la pieza, deben entrar en juego un segundo proceso que calcula la intersección de los triángulos con la sucesión de planos que representan las capas a fabricar en la máquina de Prototipado Rápido.

### 2.3.2.3. Ingeniería inversa

Otra posibilidad será a través de la captación y transmisión directa al ordenador de la geometría de una pieza que existe físicamente.

Este procedimiento se conoce bajo el nombre de ingeniería inversa, y consiste en la tecnología de conversión de la pieza física en puntos geométricos en el ordenador, también llamado como digitalización de superficies.

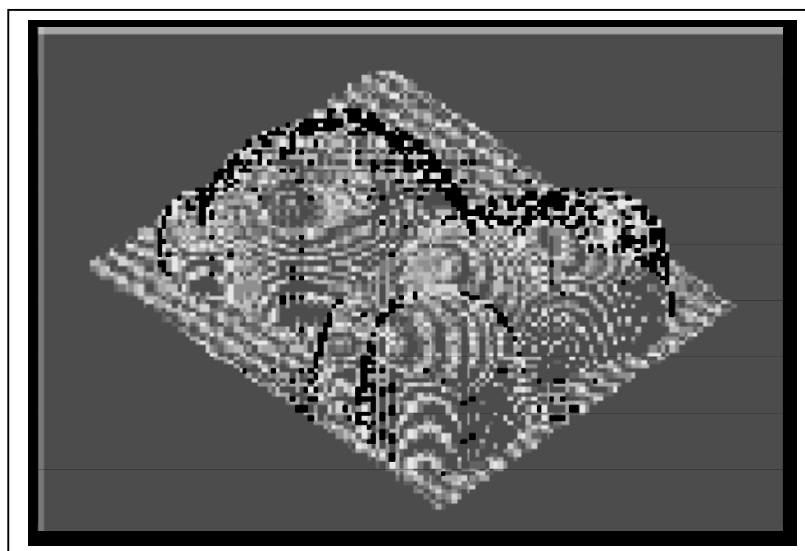


Figura III-8. Nube de puntos.



Los datos digitalizados son introducidos al sistema CAD como “nubes de puntos”, tal como se ve en la figura III-8, y a partir de aquí, definirá las curvas características de la pieza. El diseñador editará las superficies que definen la pieza o el programa informático las generará automáticamente dentro de una tolerancia predefinida (figura III-9).

Estas superficies se pueden exportar en los diferentes formatos conocidos a un equipo de prototipado o a una máquina CNC.

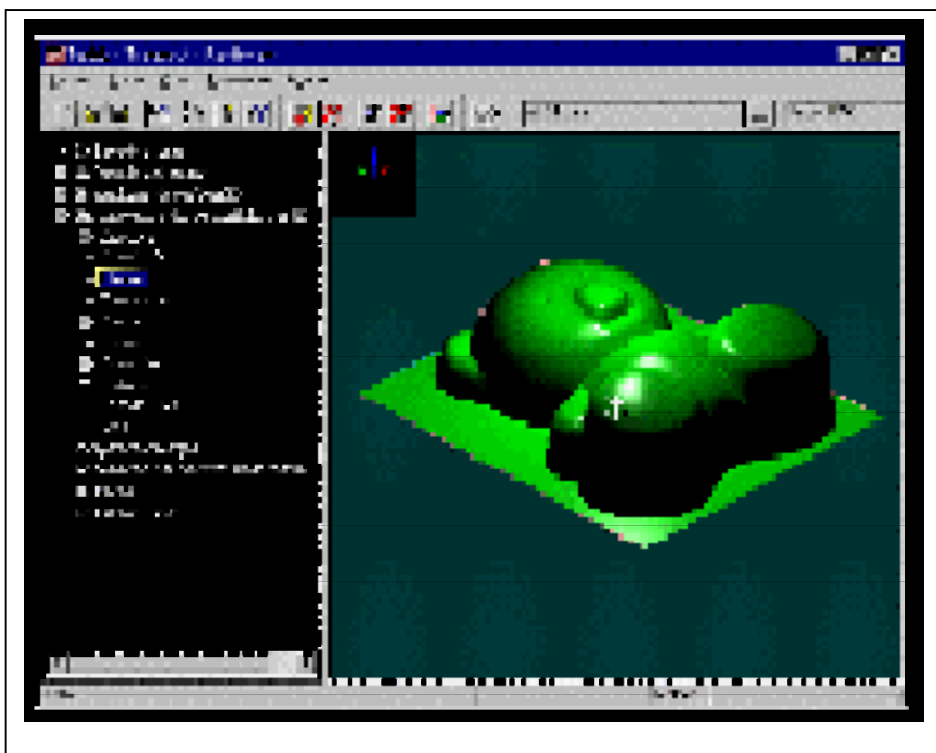


Figura III-9. Renterizado de la nube de puntos.

En forma de esquema el proceso se observa en la figura III-10 y consiste en lo siguiente:

La ingeniería inversa parte del modelo físico presente y como en el prototipado rápido lo que se pretende es, precisamente, conseguir un modelo; este tipo de ingeniería está enfocada más a otros campos de aplicación aunque, dentro del área de prototipado se utiliza mucho para modificar piezas ya construidas. De esta forma se digitaliza la pieza y sobre la nube de puntos se insertan modificaciones o se eliminan partes.

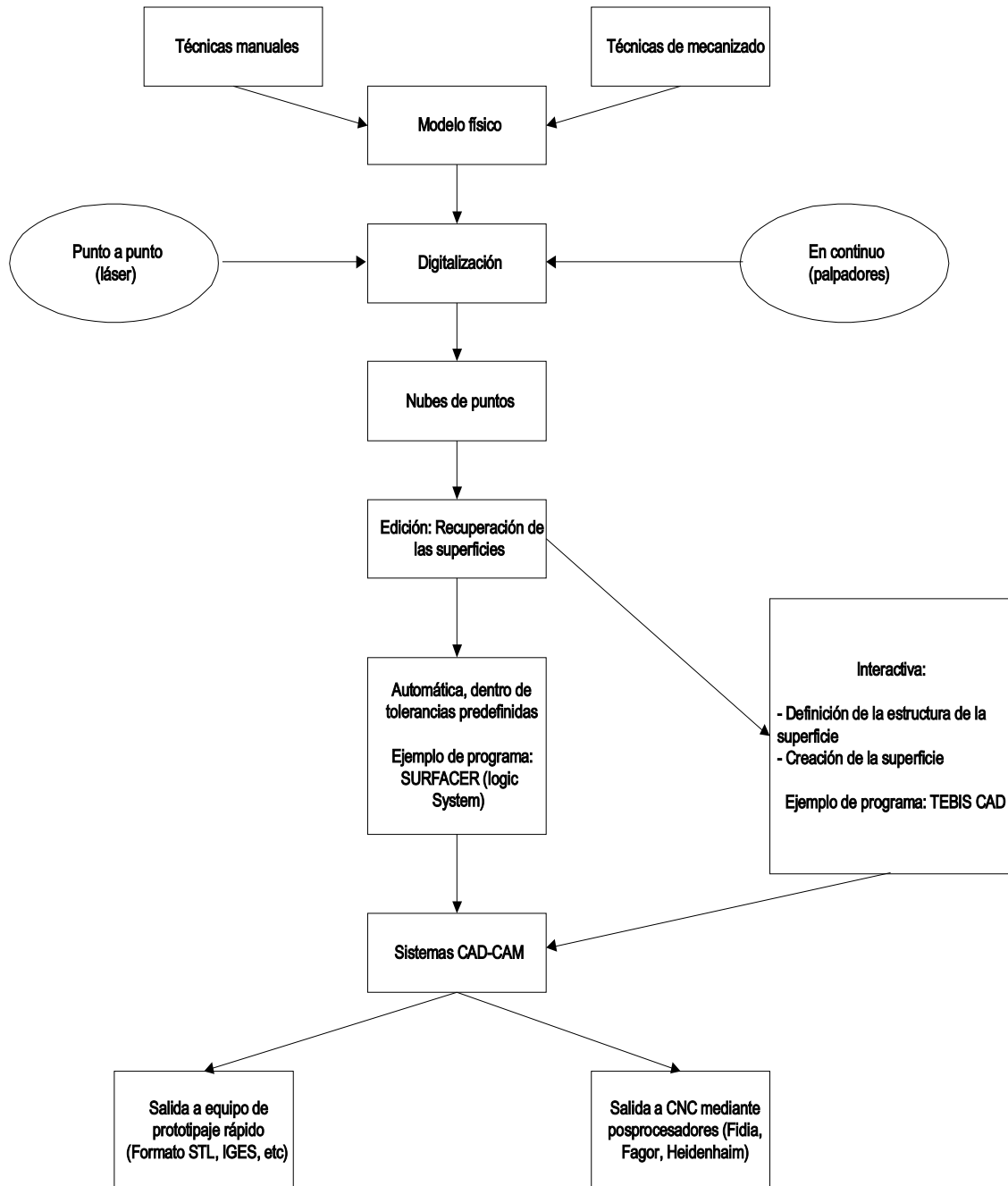


Figura III-10. Esquema del proceso de obtención del fichero de un modelo.

### 2.3.2.4. Transferencia de datos entre sistemas CAD

En el caso de encargar fuera de la empresa la ejecución de la pieza de un fichero CAD, debe tenerse en cuenta una de las limitaciones más peligrosas del Prototipado Rápido: la mala compatibilidad entre sistemas CAD. Esto puede ser un serio problema si el CAD del ejecutor de la pieza es distinto y por lo tanto se dispone de un intérprete de información distinto al CAD de origen.

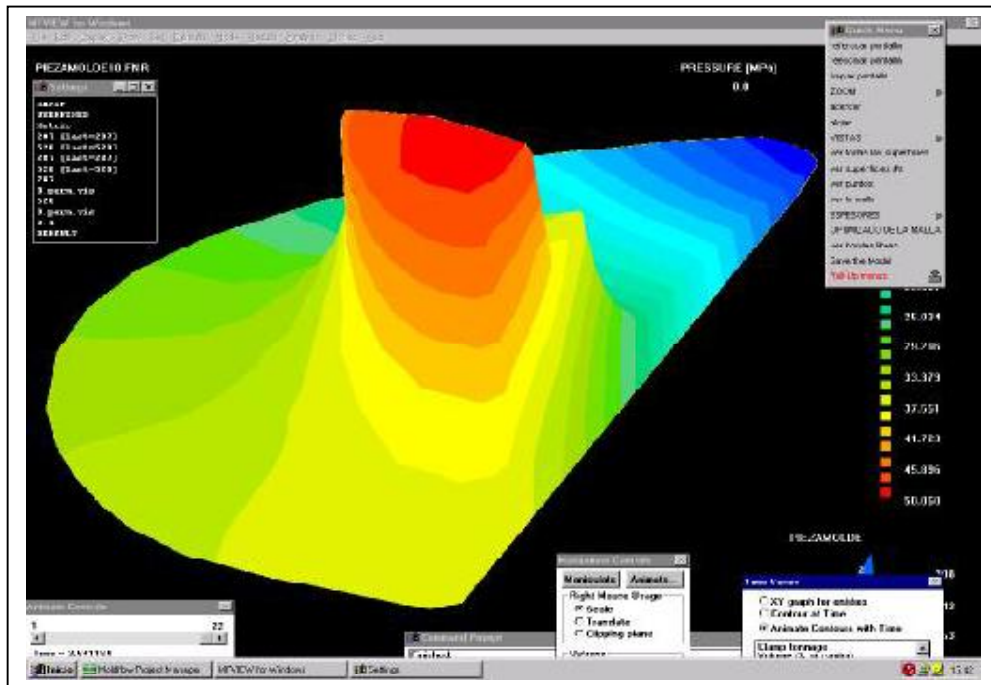


Figura III-11. Diseño en 3D.

En este último caso, se hace necesario añadir dos pasos intermedios a la transferencia de datos:

Convertir el fichero CAD de la empresa en un fichero "neutro" que pueda ser leído por el sistema del ejecutor de la pieza.

Los ficheros neutros más extendidos son: IGES, STEP, SET, SPAC, VDA, UNISURF. Según sean los ficheros CAD de la empresa, por un lado, y del constructor de la pieza, por el otro, los ficheros neutros permiten recuperar entre un 80% y un 100% de la información. En la tabla III-2 se enuncian los diferentes formatos.

Estos procedimientos de exportación de datos tienen el problema de que no siempre funcionan bien y puede haber pérdidas de información que hacen necesario construir de nuevo el diseño en el sistema CAD de origen.

Formato	Origen	Norma	Aplicaciones	Puntos fuertes	Puntos débiles
IGES	USA	ISO	2D, 3D lineales, superficiales o facetizadas, elementos finitos, modelizaciones eléctricas e hidráulicas	Respaldado por usuarios de todo el mundo	Ficheros voluminosos. La verificación de los resultados es indispensable. Proceso lento
SET	Francia	AFNOR	2D, 3D sólidos, elementos finitos, modelización eléctrica	Ficheros poco voluminosos	-
STEP	Internacional	ISO	Multisectorial. Descripción de todos los datos y de sus atributos lógicos	Cubre 25 sectores de actividad, de los que 12 lo han adaptado como estándar internacional	Los numerosos campos de aplicación que quiere cubrir, conducirán a la multiplicación de protocolos informáticos
DXF	Autodesk	-	Descripción binaria, ASCII	Muy extendido	Propietario
HPGL	HP	-	Formato Raster	Muy extendido	Mera reproducción de los trazos de una representación 2D

Tabla III-2. Formatos de intercambios de ficheros CAD.

### 2.3.3. TOMA DE DECISIONES

Una vez montado, pintado y decorado el prototipo, es sometido a la evaluación final a través de una reunión entre gerencia y los distintos responsables de elaboración del boceto, responsable de desarrollo del prototipo y responsable de fabricación. En ella se da el visto bueno para su posterior fabricación. Así, en esta reunión se pulen los últimos detalles que surgen antes de comenzar la elaboración del utillaje necesario.

En esta reunión se comprueba que el precio de salida al mercado del producto se encuentra bajo los niveles estimados, verificando el tiempo del que se dispone para sacar el producto al mercado por lo que se comienza a planificar las campañas de promoción y se orienta la presentación de sus nuevos productos a las distintas ferias, presentándose incluso los prototipos en éstas.

### 2.3.4. OBTENCIÓN DE LOS DISEÑOS DE MOLDES, TROQUELES, MATRICES Y UTILLAJE EN GENERAL

Una vez aprobado este prototipo final (piezas, decoración y pintura) se procede a la elaboración de los utilajes necesarios para la elaboración en serie del nuevo producto. Para ello se aprovechan los planos, diseños y maquetas que en los apartados anteriores se han creado. En el 91% de las ocasiones se subcontrata a un taller auxiliar para la obtención del utilaje. Si en procesos anteriores se ha tenido que recurrir a la subcontratación de un taller (por ejemplo en el caso de creación de planos), en este apartado se sigue con el mismo.

La forma con la que el taller trabaja depende de la forma con la que el Departamento Técnico le entregue la información (tal y como se observa en la figura III-12). Además, hay que tener en cuenta en todo momento el estudio previo de las piezas que se ha realizado en el Departamento Técnico así como el reparto de piezas en el molde.

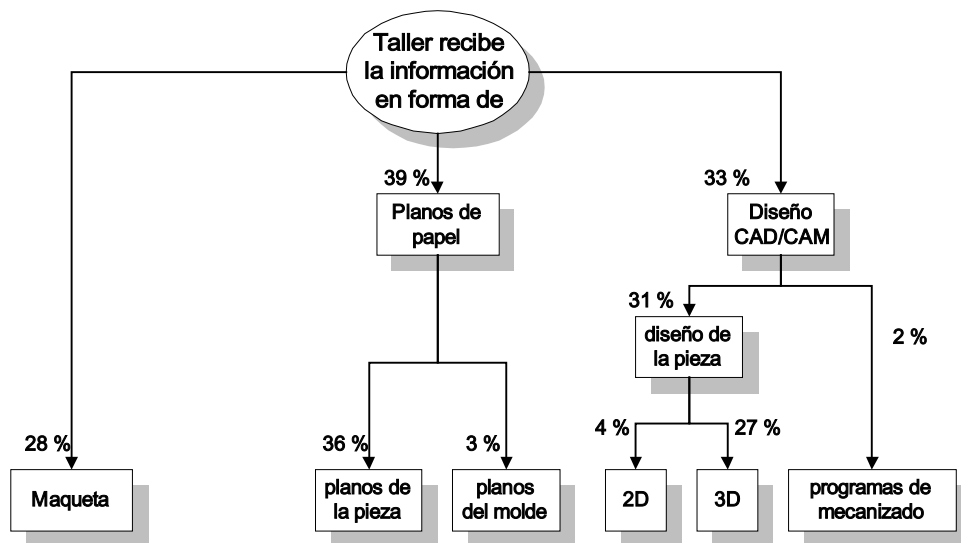


Figura III-12. Esquema trabajo para desarrollo juguetes

Cuando trabajamos con maquetas (28% de las ocasiones) el diseño del molde (2D o 3D) puede realizarse si la maqueta no presenta excesiva complejidad geométrica. También se realiza un diseño del molde en caso de que la maqueta presente unos ciertos problemas de contracción del material con el que está fabricada, así como la dureza de éste. Si por cualquier motivo no se decide realizar un diseño del molde, partiendo de la maqueta se realizará una resina para obtener el molde por erosión a posteriori.

En un 39% de las ocasiones disponemos de los planos en formato papel de las piezas, por lo que se deberá realizar el diseño (en 2D o 3D) del molde.

Si disponemos del diseño CAD de la figura (tanto en 2D como 3D) será necesario elaborar los planos del molde.

### 2.3.5. FABRICACIÓN DEL UTILLAJE

El proceso de fabricación del molde es el procedimiento más laborioso en la fase de desarrollo del diseño ya que se debe realizar un perfecto acabado del molde. Sea cual sea la técnica usada en la elaboración del utillaje, se realiza finalmente un refinado y siempre existe un pulido final manual. En la figura III-13 se puede visualizar este proceso.

- Partiendo de la resina de la maqueta (38% de las ocasiones) nos podemos encontrar con:
  - ⇒ Realizar un desbaste de la propia resina en copiadora (4%) obteniendo el molde.
  - ⇒ Debido a las limitaciones de la copiadora, se encuentran con la necesidad de obtener una pieza en galvano (32%) a partir del molde de resina. Con esta pieza de galvano y a través de la erosión obtendremos el molde.
  - ⇒ Si la pieza es pequeña y no se prevé realizar grandes tiradas, se puede optar por realizar directamente el molde de galvano (2%).
- Si partimos del diseño del molde (tanto 3D como 2D, papel o CAD), para obtener el molde tan sólo será necesario crear los programas de mecanizado correspondientes, partiendo de la base de que si se dispone del diseño 3D, el propio sistema CAD/CAM podrá generar los ficheros automáticamente; mientras que si se dispone de los planos del molde en 2D habrá que generarlos manualmente. En un 95 % de las ocasiones se opta por generar los programas por técnicas CAM, pero todavía existe un 5% que opta por la obtención de los programas de mecanizado manualmente, dependiendo de la dificultad de la pieza.

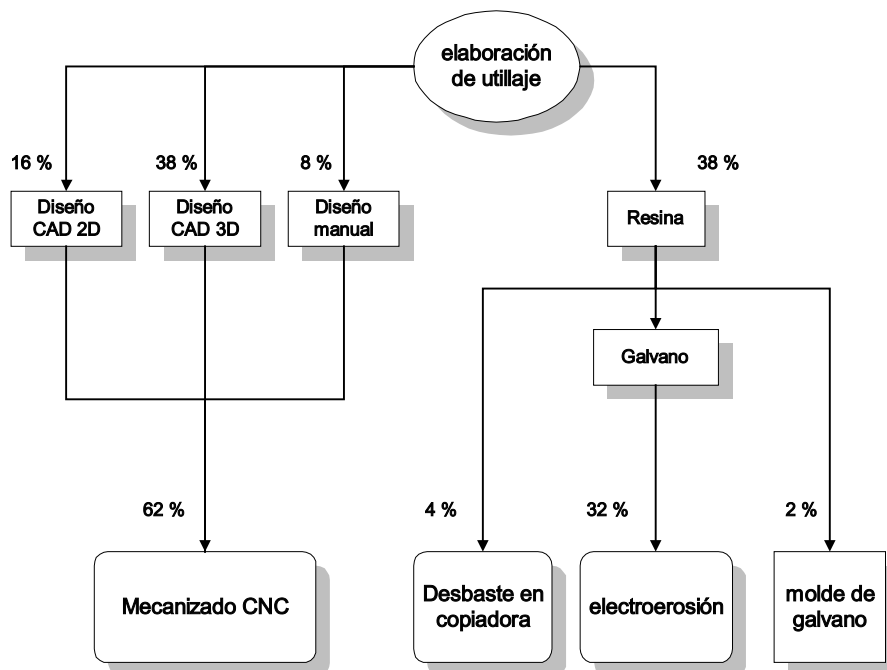


Figura III-13. Procesos fabricación de utillajes

Actualmente, hay que considerar que se está realizando un incremento y modernización de los medios de producción. Sin embargo faltan estudios para la realización de la automatización de los procesos, que contribuyan a recortar los costes y los tiempos de duración del mismo.

### 2.3.6. PRESERIES

Se denomina preserie a una tirada de 80 ó 100 productos. Aunque es una fase que se usa ocasionalmente, con ella se pretenden conseguir 2 objetivos: por un lado, comprobar que los moldes funcionan correctamente y no existen fallos en la refrigeración, contracción, etc. Y por otro lado, realizar preseries para construir una serie de prototipos que se destinan a los vendedores, distribuidores y ferias para comprobar cuál es el nivel de aceptación de ese nuevo producto.

### 2.3.7. DISEÑO DE LA PRESENTACIÓN DEL PRODUCTO

En esta etapa se pretende dar un acabado final al producto mediante la elaboración de envases y embalajes. A todo esto hay que añadir la fase de promoción.

La mayoría de las empresas con producto propio efectúan acciones de asistencia a ferias, elaboración de muestrarios y preparación de material gráfico. Las acciones de publicidad sólo son realizadas por las grandes empresas.

En talleres auxiliares sin producto propio se asiste a ferias especializadas y en algunas se confeccionan catálogos de sus servicios y posibilidades. El material gráfico es escaso y la publicidad nula.

En conjunto estas acciones responden más a una costumbre o acción obligada que a la respuesta de una estrategia planificada, que pueda tender a la apertura de nuevos mercados o a la captación de nuevos perfiles de clientes.

Si bien se realizan todos los elementos de promoción del producto, no se observa una planificación adecuada ni se cuenta con un equipo especializado, dejándose en manos de agencias.

El diseño gráfico de los productos es bueno y de gran calidad, contando con buenos recursos humanos.

Algunas de las empresas tienen muy claro la importancia de la presentación del producto como argumento diferenciador del mismo, de tal forma que actúe positivamente sobre la promoción.

### 3. DEFINICIONES Y TÉCNICAS DE PROTOTIPADO

En los apartados anteriores se han descrito los medios técnicos y humanos y las necesidades del sector del juguete.

Así, se ha comprobado que por las características propias del proceso de fabricación y la corta vida de los artículos diseñados, este sector necesita técnicas de fabricación que le permitan reducir los costes del proceso sin perder calidad.

En el mercado hay gran variedad de tecnologías rápidas y no se están usando adecuadamente en algunos casos. Otras veces no se conocen sus prestaciones ni cómo deben incorporarse en los procesos de fabricación de juguetes. Así, hay que definir y aclarar la tecnología y para ello se describen las técnicas de fabricación de prototipos existentes en el mercado.

Como ya se han descrito en el apartado anterior las fases de desarrollo de un juguete, en este apartado se estudiará cómo intervienen los prototipos, qué tipo de prototipo y qué técnica de prototipado es la más apropiada en cada fase.

#### 3.1. ¿QUÉ SON LOS PROTOTIPOS?

El término "prototipo" ha adquirido una gran importancia en los últimos tiempos. Se entiende por prototipo el ejemplar original que sirve como modelo para los demás.

La finalidad de las técnicas de obtención de prototipos es la de obtener un producto a escala, pero no industrial, y se hace así para determinar la viabilidad técnica y económica del artículo previamente a su producción industrial. Así se consigue investigar el comportamiento del producto sin demasiado costo en la industria y dependiendo del comportamiento de los prototipos se pasa o no a la producción a nivel industrial del producto.

Actualmente son muchas las industrias que realizan un estudio de sus productos mediante la preparación de prototipos (automóvil, juguetera, informática, calzado, etc.).

Se han desarrollado técnicas muy diversas para la obtención de prototipos, algunas de ellas muy sofisticadas. La mayoría se apoyan en la informática (software de aplicaciones, sistemas CAD/CAM, digitalizadores 2D y 3D, etc.). Todas estas aplicaciones informáticas tienen la finalidad de definir dimensionalmente la pieza en términos de coordenadas matemáticas para poder ser interpretadas por una máquina de control numérico CNC). Estas técnicas resultan interesantes pero requieren elevadas inversiones de capital que en ocasiones no justifican su empleo a nivel industrial. También existen otras técnicas menos sofisticadas que permiten la obtención de prototipos con unos costes inferiores; éstas se basan en la realización de una maqueta del producto y la reproducción del prototipo se lleva a cabo realizando un molde manual y posteriormente se realiza una colada de materiales.

Otro factor muy importante en el desarrollo de un producto es el factor "tiempo". El tiempo requerido para la preparación del prototipo influye sobre el tiempo global del proceso, aumentando los costes.



### 3.2. NECESIDAD Y UTILIDADES

Las fases de desarrollo de un nuevo producto se pueden sintetizar en las siguientes:

- n Estudio de Mercado. Exploración de la idea y primeros bocetos estéticos.
- n Planificación del producto. Análisis económico y toma de decisión.
- n Diseño estético y funcional.
- n Prototipos y pruebas, análisis de fiabilidad.
- n Realización de utillajes.
- n Homologación de piezas y conjuntos.
- n Producción.

A continuación se detallan las fases en las que suelen necesitarse prototipos.

- Exploración de la idea y primeros bocetos estéticos:

En la primera fase exploratoria en la que se realizan estudios de viabilidad, se trazan las líneas generales del proyecto. Cada vez más se realizan bocetos estéticos y maquetas con los que ilustrar el proyecto.

- Diseño estético:

En esta fase se trata de definir totalmente las formas exteriores, volúmenes y sistema constructivo.

Según el tamaño de la maqueta y su utilidad posterior se aplican distintos sistemas.

- Diseño funcional y pruebas:

En cuanto al diseño funcional, cada empresa tendrá sus propios criterios para decidir las pruebas a realizar y, por lo tanto, esto condicionará el sistema de obtención de prototipos.

La fabricación de piezas mediante moldes prototipos es, desde luego, el sistema más fiable, ya que permite la utilización de materiales y procesos de transformación idénticos a los definitivos; pero es también, la mayoría de las veces, el sistema más caro.

Sin embargo las nuevas tecnologías de fabricación de prototipos permiten obtener piezas tan exactas en relación al diseño inicial que posibilitan la realización de todo tipo de análisis y ensayos.

Así, estas técnicas permitirán, progresivamente, sustituir el sistema de prueba - error por el concepto de optimización del diseño desde la fase de creación.

Los ciclos de prueba - error durante la fase de desarrollo de un producto deben reducirse al mínimo en número y duración. Este mínimo, desde el punto de vista práctico, debe ser compatible con la tendencia actual de hacer un estudio profundo del producto en la fase de diseño y proyecto. De esta forma, los costes de desarrollo son mayores, pero los costes y plazos de puesta en fabricación son apreciablemente menores y la diferencia es más rentable para la empresa.

La realización del prototipo, como una etapa más del desarrollo de productos, interesa que sea lo más corta posible y como consecuencia de ello en la actualidad las líneas de investigación de prototipos tienen un objetivo común, reducir los plazos en la obtención de éstos. Así surge la investigación y desarrollo de las técnicas de Fabricación Rápida de Prototipos (RPD).

A continuación enunciamos las ventajas que supone la disminución de los plazos de entrega de los prototipos:

- A corto plazo, pueden hacerse predicciones más acertadas de las necesidades o gustos del cliente.
- Se puede llegar al mercado antes que la competencia y ello conlleva ventajas económicas.
- En los procesos de menor duración puede mantenerse más vivo el impulso y entusiasmo inicial del equipo, lo que se traduce en mejores resultados.

Así en general podemos concluir que la finalidad de la realización de prototipos es para determinar la viabilidad técnica y económica del producto y reduciendo los tiempos que se invierten en el proceso de desarrollo de un producto. Y que los prototipos son útiles para todos los sectores industriales. Como consecuencia de esto se están desarrollando continuamente nuevas tecnologías que permitan la utilización de diferentes materiales y modelos iniciales de diseño.

La realización de prototipos es importante en el sector de inyección del plástico, debido al ahorro que puede suponer conocer las características de un producto antes de realizar las inversiones necesarias para su fabricación en serie. Pero esta importancia se pone más de manifiesto en algunos sectores como el del juguete, ya que hay que añadir a las ventajas anteriores la necesidad que tienen las empresas de este sector en poner en el mercado nuevos productos cada año y con poco tiempo de desarrollo.

### 3.3. TIPOS DE PROTOTIPOS

Los prototipos requeridos por la industria, según la utilidad del prototipo, se pueden clasificar en tres grupos genéricos:

- **Prototipos Estéticos**

En estos prototipos es importante producir formas, colores, texturas. Se requiere rapidez en la obtención, no siendo precisa la obtención de un gran número de piezas. No es necesario obtener geometrías con tolerancias finas, materiales finales, etc.

- **Prototipos Montables**

Es importante producir productos con geometría y tolerancia gruesa, de manera rápida, sin necesidad de obtener un gran número de piezas.

- **Prototipos Funcionales**

Son para los casos en los que importa obtener productos con tolerancias finales para desarrollar los procesos de fabricación. No es necesario centrarse en el acabado final del producto.

Otro criterio de clasificación para elegir un prototipo u otro es según los ensayos de vida-fiabilidad requeridos.

Es conveniente centrarse en aspectos como tolerancias finales, estéticas, procesos de fabricación. Además requieren un gran número de piezas. También en la rapidez requerida para obtener el prototipo.

La industria de los prototipos es usada en numerosas vías. El número de prototipos se elige en función del proyecto que se esté tratando.

Las especificaciones y la cuantía de la producción son un factor importante para decidir el método de producción de los modelos.

En los siguientes apartados se clasifican los prototipos según la aplicación, el número de prototipos y la tecnología empleada para fabricarlos.

### 3.4. TÉCNICAS DE PROTOTIPADO

#### 3.4.1. MODELOS Y PROTOTIPOS

Cuando se plantea un proyecto, entre el primer boceto y la decisión de mecanizar - sea las propias piezas diseñadas ó utillaje para producirlas mediante otros procesos - queda el espacio propio del diseño industrial: el espacio de ingeniería que va del CAD al CAM, atendiendo a las siglas de nomenclatura anglosajona habituales para procesos asistidos por ordenador. Siguiendo con las

siglas, CAE (Computer Aided Engineering) y TP&M (Rapid Prototyping and Manufacturing) son las tecnologías que cubren este espacio, objeto del presente apartado [25-27].

El elemento de trabajo básico en ingeniería es un modelo adecuado al problema a tratar: un modelo que pueda predecir con precisión determinados aspectos del comportamiento real del proyecto.

Por otra parte, el desarrollo de todo proyecto parte de un conjunto de premisas de carácter general, que se van concretando conforme se van imponiendo condiciones al diseño; así pues, desde la idea más primitiva hasta el prototipo más elaborado, se evoluciona a través de diversas aproximaciones.

Además, la evaluación de un modelo proporciona criterios para modificar el diseño, de forma que las respuestas a cada estímulo se adecúen a las especificaciones.

Estas tres consideraciones describen la línea general de trabajo: el desarrollo de un proyecto se basa en la evaluación de diversos modelos, cada uno de ellos dedicado a un objetivo determinado, en un proceso iterativo de aproximación a la solución ideal.

Bajo este prisma, modelo y prototipo no son entidades distintas: ambos son una representación de la realidad que permite estimar ciertos comportamientos de ésta. El énfasis en esta afirmación es preciso para no dar pie a confundir un modelo con un dibujo o una forma con una función.

Se mantiene, sin embargo, el uso de los dos nombres para matizar el ámbito de actuación de cada cual, estableciendo una división genérica:

- El modelo hace referencia al espacio virtual (prototipo virtual).
- El prototipo hace referencia al espacio real.

Cuando se habla de espacio virtual, la referencia apunta a modelos matemáticos, a los que pueden aplicarse diversos análisis que reproducen, con el grado de aproximación que permita el modelo teórico, tanto las condiciones de proceso como las de trabajo. El espacio real indica prototipos tangibles, sobre los que pueden aplicarse ciertas pruebas físicas. Así pues, pueden obtenerse resultados funcionales en ambos.

Por esta razón, la forma lógica de clasificar modelos y prototipos es atendiendo al objetivo que persiguen, esto es, en función de las preguntas a las que pretenden dar respuesta.

Con este criterio, se pueden establecer las siguientes tipologías :

- Conceptuales
- Formales
- Patrones
- Funcionales
- Reales

Esta diferenciación no es excluyente, existiendo grandes zonas de intersección entre tipos. Asimismo, las técnicas implicadas en la generación de los mismos, no encajan en un tipo único; no obstante, esta clasificación es útil para poner de relieve las bondades y limitaciones de las distintas tecnologías, manteniendo clara la idea básica de ingeniería que se persigue.

- Los modelos y prototipos conceptuales se utilizan para verificar la bondad de la idea básica del proyecto. Se ha dado en llamar a esta fase la de intento de diseño. Puede tratarse de un simple esbozo, de un circuito eléctrico o una cadena cinemática, pero también de una pieza tangible en 3 dimensiones. También puede ser un dibujo alámbrico.
- Los formales, como su nombre indica, reproducen básicamente la forma del elemento diseñado. Con ello se pueden sacar conclusiones respecto al volumen real y a su impacto, al aspecto estético, a la ergonomía, a las posibles interferencias mecánicas con otros elementos, etc. Son modelos formales, desde sólidos 3D en CAD hasta prototipos de escayola, de madera o de otros materiales. Es importante reconocer que el objetivo se cubre con la forma y no con el material.
- Los patrones sirven como paso intermedio para la obtención de otros modelos o de pre-series con diversos grados de aproximación a la realidad. Su principal característica es, pues, que deben facilitar la reproducción; suelen respetar la forma y las propiedades del material (en el caso de prototipos) no tienen nada que ver con la pieza final, sino con la técnica de reproducción. Por ejemplo, para reproducción a la cera perdida, debe presentar un coeficiente de dilatación prácticamente nulo y una combustión sin residuos; para la reproducción con moldes de silicona, debe presentar superficies finas y detalladas que faciliten el desmoldeo.
- Los funcionales atienden a la función, es decir, a la capacidad de verificar determinadas funcionalidades del elemento final. Por esta razón, no tienen que reproducir necesariamente la forma definitiva, sino más bien al contrario, tienen que proporcionar la forma que se adapte mejor al tipo de prueba a realizar: esto es particularmente evidente en los modelos para análisis en los que, en general, se requiere una malla de elementos finitos. Tampoco tienen porqué reproducir el material final si las propiedades mecánicas son razonablemente parecidas, será posible reproducir la función a que se destina, no a pasar tests de aceptación como resistencia al impacto, flexión, etc. De este tipo son desde los modelos matemáticos más abstractos hasta prototipos ensamblables y mecanizables de diversos materiales (polímeros, resinas, metales, etc.).
- Finalmente, los prototipos reales persiguen el objetivo no sólo de reproducir la forma y el material final, sino también el proceso de fabricación. Esto es muy importante, sobre todo en procesos de transformación de materiales plásticos, puesto que las propiedades mecánicas del producto final dependen fuertemente del proceso (deformaciones y contracciones, orientación de fibra, tensiones residuales, posibles fracturas moleculares, etc.). Se han acuñado las expresiones "buen material" y "buen proceso" respectivamente, para calificar los prototipos que pueden testarse en la realidad: los prototipos fabricados en el "buen material" o material final, dan ciertamente mejores garantías que los generados con materiales equivalentes frente a pruebas reales; sin embargo, no son más que una variedad de prototipos funcionales. Las únicas pruebas concluyentes y, por tanto, las únicas que pueden suscribir un test de aceptación, son las realizadas sobre prototipos que además se han fabricado con el "buen proceso", es decir, con el proceso que se utilizará industrialmente en la fabricación seriada.

De la revisión de los diversos modelos y prototipos puede concluirse que los modelos que más interesarán al ingeniero serán los funcionales en general: en su vertiente analítica, en el espacio virtual y, en su calidad de experimentales, en el espacio real.

Los modelos funcionales analíticos se basan, en general, en la resolución por métodos numéricos de las ecuaciones diferenciales que rigen los diversos comportamientos a estudiar. Para ello, el tipo más adecuado de modelo es el matemático, mallado en elementos finitos. Este fichero geométrico suele tener la extensión .fem (definite element method).

Los prototipos experimentales se trasladan del ordenador (CAD) a las máquinas que los generan mediante un fichero de formato normalizado que se basa en la triangulación sólida del modelo, de forma que la transferencia real sea siempre de geometrías simples (aproximación poliédrica a las superficies reales). Este fichero geométrico tiene la extensión .stl (probablemente por razones históricas, asociado a la estereolitografía: stereolithography).

Así, clasificando las diferencias entre modelo y prototipo, se pueden resumir en las siguientes características:

- Modelo, virtual, analítico, técnicas CAE, fichero tipo .fem
- Prototipo, real, experimental, técnicas RP&M, fichero tipo .stl

Un gran avance en este campo es la progresiva incorporación de técnicas basadas en conocimiento (genéricamente KBE, por Knowledge-Based Engineering), que permiten, entre otras habilidades, unificar los datos de partida: pasar de ficheros nativos CAD a ficheros .stl y de éstos a ficheros .fem.

Así pues, quedan perfectamente delimitados los ámbitos de actuación de ambas tecnologías dentro del contexto global de diseño, sin olvidar que las iteraciones no están limitadas a una sola tecnología, sino que cubren al conjunto.

### 3.4.2. TÉCNICAS DE ELABORACIÓN

Las técnicas de fabricación de prototipos se pueden dividir inicialmente en las de primera fase, que son las de obtener la primera pieza, y las de segunda fase, que son para obtener master. Las técnicas para obtener la primera pieza a su vez se pueden dividir en:

- Procesos por eliminación de material.
- Procesos de deformación.
- Procesos por aporte de material (MIM: Material Increase Manufacturing)

En el siguiente esquema se resumen los procesos enunciados.

#### Procesos por eliminación de material

Son procesos que empiezan con una gran cantidad de material base y se quita todo el exceso de material que puede ser por métodos convencionales (torneado, mecanizado, rectificado, etc.) o de un modo no tradicional (electroerosión, mecanizado por láser, mecanizado por ultrasonidos, etc.).

### Procesos por deformación

En estos procesos se empieza por la cantidad correcta de material base y se deforma hasta conseguir la forma deseada. La deformación en este contexto puede ser entendida como deformación en estado sólido (forja, estampación, extrusión, etc.), así como la deformación en estado líquido o semi-líquido (fundición, inyección, colada bajo vacío, etc.). En todos estos casos no hay ni aportación ni eliminación de material.

### Procesos por aporte de material

Se trata de técnicas en las que partiendo del material crudo se va aportando sucesivamente material, para la formación de capas bidimensionales que por diversas técnicas solidifican (solidificación por interferencia de haces, solidificación punto a punto, solidificación capa a capa, polimerización térmica de líquido, etc.). Se trata de técnicas muy recientes y su empleo es todavía muy limitado.

Cuando se trata de los prototipos tangibles y fabricación de preseries, clásicamente se ha generado un cuello de botella en términos de tiempo. Esta situación se ha abordado con éxito mediante las técnicas de Rapid Manufacturing technologies. Desde hace varios años, se dispone de diversas técnicas RP, para convertir datos CAD en 3D directamente en objetos físicos. Una vez más, cabe insistir en el objetivo que se persigue: en este contexto, suele ser habitual restringir la expresión Rapid Prototyping a los procesos que generan prototipos conceptuales y formales; se usa preferentemente Rapid Casting para identificar la generación de patrones, sea destinados a la obtención de un molde de vacío o de fundición y, finalmente, Rapid Tooling, que indica la obtención directa de moldes y utillaje, en general, para conseguir prototipos técnicos o reales [25-29].

La última parte de las siglas, Rapid Manufacturing, se refiere básicamente a los procesos que consiguen un prototipo real directamente del patrón, sin molde previo (como puede ser el caso de fundición en arena) o generan directamente un molde (concha) sin pasar por un patrón; se trata, pues, de un caso particular de Rapid Casting.

Según sea la técnica utilizada, así será el prototipo. Para la aplicación concreta al diseño con materiales plásticos, uno de los campos más prometedores es el Rapid Tooling, por las siguientes razones:

- La mayoría de procesos de transformación de termoplásticos y termoestables requieren el uso de un molde.
- En la mayoría de los casos no se dispone del buen material en forma mecanizable.
- Las únicas pruebas reales posibles dependen tanto del buen proceso como del buen material.
- Con estas técnicas, el tiempo de consecución del molde no difiere en gran medida del de obtención directa del prototipo.
- El Rapid Tooling permite la fabricación de preseries, además del prototipo mismo.

Para sacar partido de forma eficaz de las técnicas RP&M se requiere cierta experiencia y un know-how muy específico; no porque los sistemas actualmente disponibles exijan personal altamente cualificado o entrenado, sino porque la tarea de elegir las mejores aproximaciones y

técnicas es tan compleja como la aproximación convencional de modelos y moldes. Con un buen uso, se puede conseguir la reducción en un 80% del tiempo que tomaría un prototipo convencional. El uso de estas técnicas es tanto más aconsejable cuando:

- Se tienen geometrías complejas.
- El tiempo de desarrollo es crítico.
- Se utiliza intensivamente CAD 3D.

En términos generales, las técnicas de fabricación por aporte de material consisten en generar una pieza 3D, a base de apilar diversos cortes de la misma en el eje Z. Cada uno de los cortes o capas tiene un espesor tan bajo (típicamente del orden de una décima) que puede considerarse que sólo contiene la información 2D de su propio plano.

A fin de que la definición matemática del objeto sea de fácil transporte, intercambio y manipulación, se hace una aproximación poliédrica de la superficie real. El tamaño de malla es elegible ponderadamente en distintos puntos de la pieza: más fina para mayores detalles o complejidades; más gruesa para grandes superficies planas o sectores donde se exija menor precisión. Esta malla sólida (de triángulos) es lo que constituye el fichero .stl. La mayoría de paquetes de CAD de sólidos disponen de módulos eficaces para generar ficheros .stl directamente de un objeto. Existen otros programas que facilitan la generación de este tipo de ficheros a partir de dibujos de superficies (IGES, VDAFS, etc.) o que los corrigen de posibles defectos.

El fichero .stl se introduce en el equipo de fabricación de prototipos, donde se orienta, se escala (en precisión de contracciones durante y después del proceso) y se sitúa en relación a otros objetos que se generarán al mismo tiempo. Posteriormente se corta en capas para generar la pieza.

También el fabricante de juguetes, además de necesitar los prototipos para tener un modelo físico del artículo, los necesita para verificar las características del modelo en cuanto al diseño, funcionalidad y, sobre todo, para comprobar el cumplimiento de las Normas de Seguridad del Juguete.

Cada empresa desarrolla su propia metodología para la construcción de prototipos, en función de sus necesidades específicas de cada producto y dependiendo de los recursos y tiempo que puedan invertir. El método que utilizan es totalmente artesanal (escayola, madera, etc., hechos por un maquetista) y por supuesto presenta grandes inconvenientes y limitaciones al ser un proceso costoso en tiempo y dinero.

Las técnicas más eficientes en la realización de prototipos presentan también inconvenientes para la pequeña y mediana industria, como son la necesidad de personal especializado en el desarrollo de nuevas tecnologías así como el requerimiento de una fuerte inversión económica ya que son técnicas muy costosas y que una pequeña industria juguetera no puede asumir, reservando su utilización a grandes empresas, centros especializados y Service Bureaux. El principal inconveniente es su elevado coste, lo que implica una fuerte inversión inicial y la necesidad de realizar un gran número de prototipos para su amortización. Por ejemplo, el precio de un equipo de estereolitografía, la técnica más implantada, exige inversiones superiores a los 600.000 euros.



Por otra parte, las técnicas de prototipado rápido están basadas en tecnologías (láser, proyección) que son extrañas a las empresas transformadoras de plásticos y a los fabricantes de moldes. Este hecho presenta las siguientes consecuencias:

- Si una empresa transformadora o fabricante de moldes se decidiera a realizar la inversión tendría que destinar y formar personal exclusivamente para este fin.
- Cuando una empresa pide la realización de prototipos mediante estas técnicas no tiene capacidad de intervenir en el proceso, estando su papel limitado a simple receptor del producto.
- En la actualidad las materias primas son generalmente suministradas por los fabricantes de los equipos lo que los hace excesivamente caros (entre 30 y 300 euros/Kg).
- Los sistemas son ajenos al utillaje y formas de trabajo implantados normalmente en las empresas.
- Es necesaria, dependiendo de las necesidades y la tecnología usada, una operación de acabado superficial al final.

Es por ello que las pequeñas y medianas empresas recurren a estos servicios en empresas externas que cobran por el servicio. Así, todos estos inconvenientes no repercuten de una forma directa sobre el usuario de la tecnología.

De esta forma, las ventajas de usar estas tecnologías superan con creces los inconvenientes creados, que recaen sobretodo en la adquisición de costosos equipos difíciles de amortizar por el número de productos que desarrolla una pequeña y mediana empresa. Todo ello ha posibilitado la capacidad de usar estas tecnologías y el importante incremento de su uso en el sector juguetero y en el de transformación de plásticos en general.

Ahora bien, al realizar estos prototipos sin las herramientas utilizadas en la fase de fabricación, los objetos no reflejan el material final utilizado y por tanto su funcionalidad. Es por ello que un paso más en la utilización del Prototipado Rápido sería la fabricación con estas tecnologías del propio utillaje de producción o en su defecto en la realización de utillaje de fabricación que nos permitiera una serie del prototipo en material final. El objetivo de este estudio es la validación de una de estas tecnologías, el Sinterizado Selectivo por Láser, en la realización de los moldes-prototipo usados en la industria juguetera.

### 3.5. CLASIFICACIÓN DE LAS TÉCNICAS

A continuación se clasifican las técnicas según su utilidad para hacer un primer prototipo o preserie de piezas.

### 3.5.1. PROCESOS DE ELABORACIÓN DEL PRIMER PROTOTIPO

En la tabla III-3 se muestra información general sobre las tecnologías de aporte de material para la realización de un primer prototipo:

		Tecnología	Datos de Partida	Material	Datos de Entrada	Tratamiento
A	Estereolitografía SLA	Fotopolimerización	Diseño en CAD Fichero STL	Resinas Fotosensibles	Modelo Sólido 3D	Endurecimiento Posterior y Acabado
B	Deposición de Hilo Fundido FDM	Fusión	Diseño en CAD Fichero STL	ABS	Modelo Sólido 3D	Acabado
C	Fabricación de Objetos Lamina-dos LOM	Pegado y corte con Láser	Diseño en CAD	Papel Plástico	Modelo Sólido 3D	Acabado
D	Impresión 3D	Aglutinación	Diseño en CAD Fichero STL	Almidón Yeso	Modelo Sólido 3D	Endurecimiento
E	InkJet Printing	Similar a impresoras de chorro de tinta	Diseño de CAD Fichero STL	Termoplástico similar a ceras de fundición	Modelo Sólido 3D	No necesita
F	Proceso de Fraguado Sólido SGC	Polimerización UV	Fichero STL	Polímero-cera	Sólido 3D	Fundir cera y extraerla
G	Sinterizado Selectivo por Láser SLS	Sinterización con Láser	Diseño en CAD Fichero STL	Poliamida Poliamida + Fibra de Vidrio Acero Cobre-Poliamida Poliestireno Poliéster	Modelos Sólidos 3D y Superficies	Acabado, Endurecimiento no necesario

Tabla III-3.-Técnicas fabricación primer prototipo

Para la realización de un primer prototipo por tecnologías de eliminación de material:

		Tecnología	Datos de Partida	Material	Datos de Entrada	Tratamiento
H	Mecanizado de alta velocidad	Fresado	Programa de mecanizado	Aluminio	Sólido 3D	Ninguno

Tabla III-4. Tecnicas fabricacion primer prototipo

Las tablas III-3 y III-4 se ha sintetizado lo que exponemos posteriormente.

### 3.5.2. DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS DE ELABORACIÓN DEL PRIMER PROTOTIPO

#### A- ESTEREOLITOGRAFÍA (SLA)

Este proceso es el más extendido comercialmente para la creación de prototipos rápidos. Emplea resinas acrílicas o epoxi como material de aporte. Se obtienen piezas con acabados superficiales similares a las mecanizadas en fresadoras CNC. Aunque son piezas frágiles que tienden a deformarse con el uso, sirven para tener una visión real de la pieza que se quiere fabricar, la podemos unir a otras, pintarla, realizar retoques, etc.

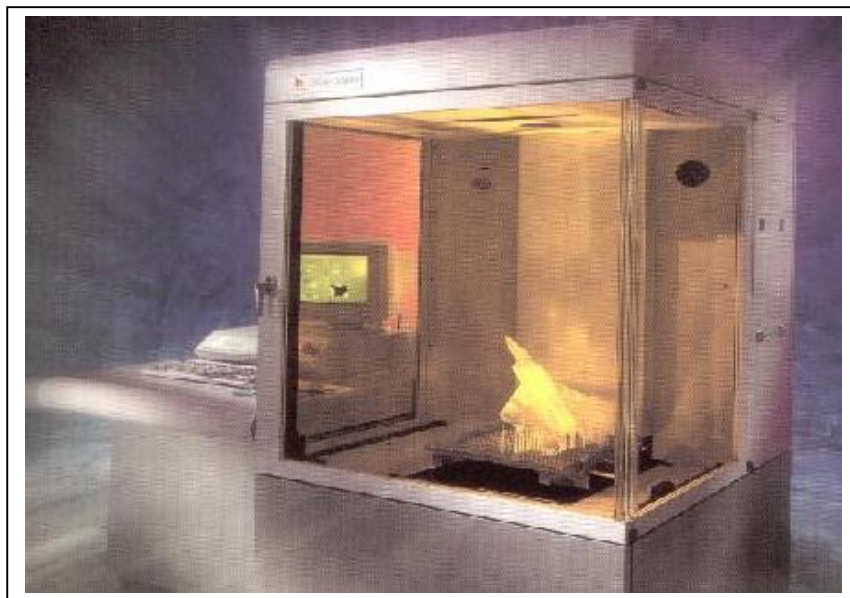


Figura III-14. Equipo de estereolitografía

Un equipo de estereolitografía (SLA) es un dispositivo para prototipos rápidos utilizado para crear piezas tridimensionales a partir de datos CAD/CAE [30 - 31].

La máquina SLA de prototipos rápidos combina cuatro tecnologías diferentes:

- Láser
- Escáner óptico
- Química de polímeros
- Herramientas informáticas

El tamaño de la pieza está limitado por el volumen del tanque. Un ejemplo típico de equipo posee un láser de Helio-Cadmio y genera un haz de 0.25 mm de diámetro con una longitud de onda de 325 nanómetros ( $10^{-9}$  m) a una potencia máxima de 28 milivatios. El tiempo necesario para construir un modelo varía con la complejidad de la pieza y la exactitud dimensional.

#### Características del proceso y materiales

Este proceso de fabricación de prototipos rápidos comienza con el dibujo de la pieza en 3D con la ayuda del CAD. Seguidamente y mediante el software adecuado, este modelo se secciona en capas de un espesor aproximado de entre 0.013 y 0.51 mm. Cada una de estas capas se fabricará de forma sucesiva, comenzando por las inferiores, hasta completar el modelo. La totalidad del proceso de construcción de prototipos rápidos con la máquina de SLA puede dividirse en cuatro pasos: preparación, construcción, limpieza y curado.

##### a) Preparación de la pieza

Comienza con el diseño de los amarres necesarios para sujetar la pieza a una plataforma y estabilizar la estructura mientras se construye. Los datos de cada capa son utilizados como entradas del proceso de construcción. La geometría de la pieza y los amarres se dividen en secciones bidimensionales de un espesor de entre 0.013 y 0.51 mm y se almacena en un fichero.

##### b) Construcción

El proceso de construcción se dirige por un sistema de escáner óptico controlado por un ordenador. Éste mueve un haz de láser en las direcciones X e Y mientras dibuja una capa de la pieza en la superficie de un líquido de resina polimérica. El polímero solidifica donde el haz láser impacta. Cuando el láser ha terminado de dibujar una capa, un elevador vertical, moviéndose a lo largo del eje Z, introduce una nueva capa formada dentro de la vasija de resina líquida. Se utiliza una paleta para establecer el espesor de la siguiente capa. Sucesivamente se construyen capas, una encima de otra, para formar una pieza completa en estado fresco. El tiempo de construcción de la pieza varía por las dimensiones y complejidad de la misma. Típicamente el rango de tiempo de construcción de una pieza se encuentra entorno de una hora o dos para piezas pequeñas y simples, hasta 60 horas para piezas grandes o complejas. La velocidad de formación de capas es, aproximadamente, de 1 cm por hora.

c) Limpieza

La pieza sin fraguar se limpia eliminando la resina excedente con alcohol. En este momento hay que tener cuidado con los gases que emanan de la pieza sin curar ya que son nocivos. El operario debe trabajar con guantes y mascarilla. El tiempo requerido para limpiar la pieza también varía desde media hora hasta dos horas por pieza.

d) Curado de pieza

Una vez limpia la pieza, se dice que está en estado "verde" (como a cualquier otro material parcialmente curado) y debe ser tratada con delicadeza. La pieza se sitúa en un horno giratorio (similar a un microondas) donde se le somete a rayos ultravioleta de alta intensidad. Después del acabado, los amarres se separan y se quitan de la pieza y, si es necesario, se aplicará una pequeña capa de arena para mejorar la apariencia general.

El acabado general es aceptable para los requerimientos de evaluación que se requieren. En cualquier caso, puede ser corregido utilizando fibra de vidrio o lijando y pintando. El acabado superficial del modelo SLA es comparable a un acabado superficial fresado. Una superficie fresada con una punta de fresa esférica, obtendría el mismo acabado superficial que con el método SLA.

Las desviaciones típicas de las piezas pueden mantenerse entre el 0.1% y el 0.5% de la dimensión requerida. Precisiones más ajustadas pueden ser conseguidas mediante operaciones posteriores.

Como regla general 0.8 mm es el mínimo espesor de la pared que puede ser producido. Espesores más delgados pueden sufrir una distorsión durante el ciclo de fraguado.

La posición de la pieza y la orientación debería alinearse con los elementos característicos del diseño para el mejor acabado superficial y dimensión. La orientación de la pieza con respecto al plano de las capas debe también ser considerado. La capa o estante, efectivamente dicta este elemento característico crítico de la pieza y suaviza los contornos a construir en el plano XY de la máquina SLA.

## **B- DEPOSICIÓN DE HILO FUNDIDO (FDM)**

La técnica FDM es una tecnología de producción de prototipos rápidos mediante la cual se pueden obtener modelos de alta precisión [32].

Un material termoplástico biodegradable, en estado semilíquido y no tóxico, se estira formando hilos finos y se deposita capa a capa a partir de la boquilla de la máquina FDM. Dicha boquilla obedece a una ruta generada con un software específico que lee los ficheros STL.

Una construcción más rápida de la pieza es una de las ventajas de esta tecnología. Debido a que la mayoría de los modelos se fabrican en unos minutos y que no necesitan tiempo de reposo para la maduración, el proceso puede producir una gran cantidad de piezas en un intervalo de tiempo muy pequeño.

El cálculo de los soportes de la pieza puede ser generado por un software independiente o por el software de la máquina de FDM.

Un carrete de material termoplástico para el modelado abastece la cabeza de extrusión del sistema, y está siempre térmicamente controlado para calentar el material a un estado semilíquido. El material se deposita en capas ultrafinas sobre una base sin sujeción. Una vez que el material ha sido colocado sobre la zona por la cabeza de control (X,Y), el plástico solidifica en unas décimas de segundo mientras el cabezal recorre la totalidad de la pieza (de forma similar a la actuación de un plotter en tres dimensiones), creando una lámina con precisión.

Un ovillo de filamentos de 1.27 mm de diámetro alimenta la cabecera de FDM y puede ser cambiado por un material diferente con facilidad en apenas unos minutos. Se debe mantener el material líquido justo por encima del punto de fusión, aproximadamente unos 80°C. El material solidifica mientras se posiciona sobre la pieza. Las sucesivas capas que la máquina deposita oscilan entre 0.025 y 0.07 mm de espesor.



Figura III-15. Equipo de deposición de hilo fundido.

#### Características del proceso y materiales:

La tecnología FDM permite una gran variedad de materiales y colores, todos ellos inertes y no tóxicos. El sistema utiliza un material plástico adhesivo en hilo, es un material resistente parecido al nylon. Estos termoplásticos se licúan y reblandecen cuando se les aplica calor. Entre los materiales que pueden utilizar esta tecnología se pueden destacar el ABS (material comúnmente utilizado en ingeniería).

Es necesario generar estructuras de soporte para la generación de voladizos por medio de una segunda boquilla. La porosidad y la fragilidad de las piezas comprometen su uso como prototipos funcionales.

#### C- FABRICACIÓN LAMINADA DE OBJETOS (LOM)

Las piezas producidas mediante la tecnología LOM están formadas por una gran cantidad de láminas cortadas por una plantilla y pegadas una sobre otra. Cada lámina se posiciona automáticamente sobre la anterior y se prensa con un rodillo caliente que la adhiere a la hoja precedente. Posteriormente la sección de la pieza se corta con un haz de láser. La velocidad y la

fuentes del láser son ajustables y, por lo tanto, el espesor de corte es exactamente el mismo que el de la lámina, evitando así que la lámina anterior se vea dañada [31].

Un láser de CO<sub>2</sub> cuya intensidad está regulada para no cortar más que la última capa, corta el contorno correspondiente. El material sobrante también es cortado por láser, de manera que pueda separarse manualmente de la pieza en forma de pequeños cubos.

#### Características del proceso y materiales

La resistencia de los modelos de papel producidos mediante la tecnología LOM permiten su empleo como moldes para colar modelos de cera.

El papel revestido de film de polietileno utilizado en la tecnología LOM permite el posterior mecanizado de la pieza con maquinaria para madera. El film de polietileno reduce los problemas de absorción de humedad. Las investigaciones actuales están encaminadas a la utilización de una gran cantidad de materiales, como:

- Papel
- Materiales plásticos
- Materiales sintéticos
- Composites
- Cerámicas
- Hojas de aluminio

Tecnologías menos implantadas trabajan con PVC, madera, chapa de aluminio, acero y poliestireno o poliestireno expandido, nylon-celulosa cortado por un electrodo caliente. Las piezas terminadas tienen el aspecto de la madera.

#### **D- IMPRESIÓN 3D**

Este proceso se basa en la unión de materiales en forma de polvo mediante gomas de aglutinante específico para éste. El material se halla en una cubeta en forma de polvo, similar al proceso de SLS. Un cabezal que se mueve en planos XY proyecta gotas de aglutinante o adhesivo que une y solidifica el material [31].



Figura III-16. Equipo de impresión 3D

Características del proceso y materiales:

Los materiales de partida son de bajo coste y son normalmente ceras, plásticos y cerámicas específicos aunque recientemente se ha introducido el uso del almidón y el yeso. Produce las capas en 2D.

Es un proceso de alta producción, debido a la posibilidad de añadir varios cabezales durante la generación.

Este tratamiento puede conferir propiedades mecánicas al modelo, en función de la materia prima utilizada, pero a su vez puede distorsionar o deformar la geometría de ésta.

Como principal inconveniente se puede reseñar la baja calidad superficial de los modelos y su poca resistencia. Su uso es exclusivamente conceptual.

**E- INKJET PRINTING**

Es una tecnología muy parecida a la de las impresoras de chorro de tinta, sustituyendo ésta por un termoplástico de características parecidas a la cera de fundición. Este método es particularmente adecuado para la generación de pequeños patrones, dado que las máquinas disponibles son pequeñas y a que se consiguen elevadas precisiones.

Características del proceso y materiales:

La precisión, así como la ausencia de estructuras de soporte, se consigue aplicando un segundo material (cera) y se rectifica cada capa. El espesor típico de cada capa es de un orden de magnitud inferior al de las demás técnicas.

**F- PROCESO DE FRAGUADO SÓLIDO (SGC)**

El proceso de fraguado sólido (SGC: Solid Ground Curing) es un proceso de prototipado rápido que construye objetos tridimensionales capa a capa en un entorno sólido [31].

El método de trabajo consiste en crear una plantilla de cada capa, con tóner sobre un soporte transparente (tipo fotocopidora). Un flash UV polimeriza la capa de fotomonómero líquida, en las partes que no cubre el toner. Antes de sumergir la parte polimerizada para crear una nueva capa, se expande una capa de cera caliente que, básicamente, cubre los huecos de la capa anterior. Seguidamente se rectifica esta capa mixta polímero-cera, de forma que el espesor se mantenga lo más exactamente posible al valor prefijado. Después se forma una nueva capa de monómero y el proceso continúa.

Características del proceso y materiales:



Se aumenta la velocidad de proceso en uniformidad y en el hecho de que no hay que crear estructuras de soporte (la cera sirve para ello). Sin embargo, hay que fundir esta cera y limpiarla para extraer las piezas en un post-proceso relativamente largo.

#### G- SINTERIZADO SELECTIVO POR LASER (SLS)

El trazado de la máquina de Sinterizado Selectivo por Láser es similar al proceso “punto a punto” de la estereolitografía: un haz de láser solidifica las diferentes capas de una pieza. El polímero líquido se sustituye por una base de material pulverulento que se calienta a una temperatura próxima pero inferior a la de fusión. La solidificación selectiva tiene lugar mediante un haz de Láser guiado en el plano XY. La sinterización tiene lugar cuando el crecimiento de la temperatura provoca una disminución de la viscosidad de los granos; esto produce tensiones en la superficie que provoca una unión interfacial entre los granos, sin llegar a la fusión. El polvo que no es alcanzado por el haz, no se ve afectado y actúa de soporte para la siguiente capa y para los posibles voladizos de la pieza.

En la figura III-17 se observa la máquina de SLS “Sinterstation 2500”.



Figura III-17. Máquina de sinterizado selectivo por láser.

Esta tecnología será ampliamente tratada en el siguiente Capítulo.

#### H- MECANIZADO DE ALTA VELOCIDAD

Es una técnica que se basa en la eliminación de material. Deriva del mecanizado por arranque de viruta aumentando la velocidad de corte. Este aumento en la velocidad ha venido

estrechamente ligado al material usado en la herramienta (acero al carbono, HSS, HM, Cermet, CBN ...) de tal forma que tras el descubrimiento de un nuevo material más resistente se producía un aumento de velocidad de producción.

Es una tecnología cara y no es accesible a todas las industrias. Piezas muy complejas y pequeñas son difíciles de hacer por esta técnica.

Una vez que se tiene un modelo CAD, los rangos de CAM son generados como un ente propio a partir del CAD.

Con este tipo de mecanizado se puede cortar entre 10 a 20 veces más rápido que con sistemas tradicionales.

Características del proceso y materiales:

En el mecanizado de alta velocidad movimientos de 3.000 mm/min y avances de hasta 10.000 mm/min se pueden alcanzar dependiendo del material con el que se está trabajando. Como guía se puede usar la tabla III-5, donde se especifica para cada material.

MATERIAL	Velocidad (m/min)	Avance (mm/min)
Grafito	500-1.250	5.000
Resina	500-1.250	5.000
Aluminio	1.000	2.000
Plástico Reciclado	500-1.000	5.000

Tabla III-5. Parametros caracteristicos para cada material

Con el mecanizado de alta velocidad, además de obtener una reducción en el tiempo de operación se consigue una alta precisión y calidad en las superficies obtenidas. Asimismo, se reduce el incremento térmico de la pieza y las vibraciones que se originan son menos frecuentes.

La potencia de maquinaria es menor que con sistemas tradicionales y por lo tanto el tiempo de vida de las herramientas aumenta.

Una variante de esta técnica es desarrollar una copia del modelo a través de un palpador mecánico o un digitalizador. Los datos pasan a un colector que los procesa en la computadora, donde son escalados, sumados, restados y unidos. Dependiendo del software usado, son capaces de ser muy útiles en la manipulación de las nubes de puntos capturadas.

3.5.3. PROCESOS DE ELABORACIÓN DE PRESERIES DE PIEZAS

En la tabla III-6 se muestra información sobre tecnologías de aporte de material para la realización de series:

Tecnología	Datos de Partida	Fundamento	Material Molde	Material Final de Piezas	Tratamiento
SLS (RapidSteel)	Diseño en CAD Fichero STL	Fusión con láser y posterior sinterización térmica e infiltración de bronce metal	Acero Infiltrado con bronce	Termoplástico	Mecanizado y Pulido
SLS (Cobre-Poliamida)	Diseño en CAD Fichero STL	Sinterizado con Láser	Poliamida con carga de cobre metal	Termoplástico	Pulido
Estereolitografía (Direct AIM)	Diseño en CAD Fichero STL	Fotopolimerización y relleno cavidad con resina epoxi	Cáscara en resina fotosensible, rellena de resina epoxi	Termoplástico	Endurecimiento posterior y mecanizado
Proyección térmica	Objeto físico	Proyección de metal fundido	Aleaciones metálicas	Termoplástico	Mecanizado
Colada Bajo Vacío	Objeto Físico	Colado en moldes de silicona de resinas	Silicona	Resinas	Acabado Manual

Tabla III-6. Tecnicas fabriccaion series

En esta tabla se ha sintetizado lo que a continuación vamos exponer.

### 3.5.4. DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS DE ELABORACIÓN DE PRESERIES DE PIEZAS

- RAPIDSTEEL (SLS)

La obtención de moldes-prototipo en metal se fundamenta en la fusión de partículas de acero rodeadas de un polímero por medio del láser. El láser funde el polímero que recubre las pequeñas partículas de acero. No es un proceso de sinterización sino de fusión por lo que se requieren potencias de láser mayores [33].

Este proceso será ampliamente detallado en el capítulo siguiente ya que es el método utilizado para elaborar los moldes prototipo en esta tesis.

Características del proceso y materiales:

Esta pieza “en verde” se introduce en un horno donde las partículas metálicas sinterizan tras llevarlas a una temperatura superior a los 1100°C. Tras la infiltración de bronce metal en un segundo proceso de horno y otro de refinado, se obtiene un molde de características similares a los moldes de acero o aluminio utilizados en la industria de los plásticos, tal como se ve en la figura III-18.



Figura III-18. Molde obtenido por SLS en Rapidsteel.

- COBRE-POLIAMIDA (SLS)

Otro nuevo material, puesto en el mercado a final de 1998, usado para obtener moldes-prototipo es el Cobre-Poliamida (figura III-19) [34]. Una base de poliamida es cargada con cobre metal. Éste le suministra la suficiente conductividad térmica para hacer viable su uso como molde de inyección para tiradas cortas (entre 100 y 400 piezas).

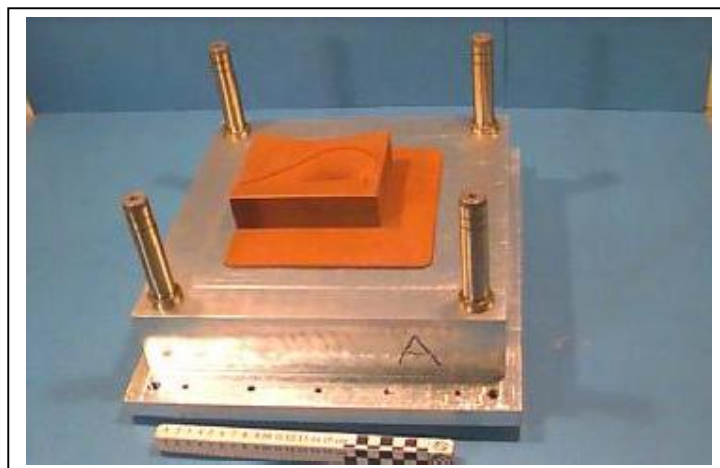


Figura III-19. Molde obtenido por SLS en Cobre-Poliamida

Características del proceso y materiales:

Por medio de un equipo de SLS se sinterizan las carcasas de los postizos según el archivo 3D. A continuación se le aplica un tapaporos en base acrilato para disminuir la porosidad y por tanto el amarre de las piezas inyectadas. Las cavidades se rellenan de resina epoxi con granalla de aluminio para aumentar la conductividad térmica. Tras un proceso de pulido los postizos están preparados para ser utilizados como moldes de inyección.

- ESTEREOLITOGRAFÍA (DIRECT-AIM)

Direct AIM, del inglés direct ACES (Acurate Clear Epoxy Resin) Injection Moulding, es una tecnología basada en la construcción de las figuras del molde mediante estereolitografía y usadas directamente como cavidades. El comportamiento mecánico de la resina es una limitación a la hora de inyectar, ya que no tiene una gran resistencia y cualquier tabique en el molde se rompe fácilmente [29].

Características del proceso y materiales:

La carcasa de los postizos se construye por medio de estereolitografía. La conductividad térmica de la resina es baja y ello obliga a enfriar el molde después de cada pieza inyectada. Este problema se puede solucionar rellorando las cavidades de la carcasa con resinas cargadas de aluminio en polvo.

- PROYECCIÓN TÉRMICA

La proyección térmica es un proceso mediante el cual se proyecta un material fundido en forma atomizada sobre una base debidamente preparada, con el objeto de crear una capa de aporte con las características superficiales deseadas [4].

La proyección se efectúa con una pistola alimentada con el material de aporte en forma de polvo o alambre. Una cabeza térmica genera el calor necesario para fundir dicho material. Finalmente, un sistema de aire comprimido atomiza el material fundido y lo proyecta sobre la base a recubrir, ayudando a la vez a enfriar el recubrimiento.

Características del proceso y materiales:

En la proyección térmica se integran una serie de procesos, en los que los materiales son calentados en el interior o exterior de la pistola de proyección, hasta su estado plástico o fundido (plasma), e impulsados hasta el sustrato en forma de depósito de proyección térmica. Las partículas individuales, normalmente de 0.5 micrometros de diámetro, son arrojadas sobre el sustrato donde impactan, se laminan, se enfrían y solidifican. Entonces estas partículas construyen una nueva superficie de delgadas laminillas colocadas cara a cara, en sucesivas capas. La naturaleza de la consolidación de las gotitas y su solidificación lleva a microestructuras depositadas.

Las temperaturas alcanzadas en la proyección térmica están entorno a los 2000 K para los gases. Para las partículas de metal fundido, las temperaturas pueden alcanzar los 1300 K.

Asimismo, la velocidad de las partículas a la salida de la pistola llega a ser cercana a la velocidad del sonido.

Las presiones medias alcanzadas a la salida de la pistola rondan los 100.000 Pa.

- **COLADA BAJO VACÍO EN MOLDES DE SILICONA**

Con esta técnica se producen moldes de goma siliconada de alta precisión y las copias exactas se realizan con distintos tipos de resinas que emulan determinadas características de los materiales termoplásticos [35].

Esta técnica utiliza una máquina de colada bajo vacío y permite fabricar prototipos en periodos de tiempo de unas cuantas horas. Para observar claramente las ventajas del proceso de colada bajo vacío frente a la inyección basta con comparar los costes de cada proceso. Para la fabricación de un molde metálico para inyección se requiere de 4 a 8 semanas y se le puede asignar un coste del 100 %. Usando el método de colada bajo vacío, se tardaría alrededor de 1 día y los costes serían de un 5% en relación al molde de metal.

Por otra parte, asumiendo que se producen los moldes manualmente, harían falta muchos días para producirlos, incluso para un ingeniero con experiencia, sin utilizar este nuevo procedimiento de colada bajo vacío. Cada componente se puede producir fácilmente utilizando los moldes de silicona. Por lo tanto, los costes materiales se reducirían así como el tiempo y el trabajo empleado en la elaboración de prototipos.



Figura III-20. Molde de silicona y piezas obtenidas por colada al vacío.

Además, si las propiedades físicas del tipo de resina empleada resultan iguales o similares a las de los materiales termoplásticos de uso general, este proceso puede ser usado no sólo para el control de la producción, sino también para la producción comercial de pequeñas cantidades o series limitadas de productos.

Esta técnica de realización de prototipos fue adoptada por algunas compañías para solucionar los problemas de las costosas inversiones en tiempo y trabajo que suponían los antiguos métodos de prototipado.

#### Características del proceso y materiales:

El proceso consiste en partir de un máster en el cual se preparan las superficies y las salidas de aire y bebederos. A continuación se construye una caja de colada donde se cuele la silicona con el máster dentro. Tras un periodo en estufa de 24 horas, con el fin de que se cure la silicona, se abre el molde, se quita el máster, se limpia y se cierra.

Se selecciona el material adecuado y se pesan los dos componentes que forman la resina definitiva. En la máquina de colado, la mezcla de resinas rellena la cavidad del molde de silicona durante un programa de vacío para evitar burbujas de aire. Tras curarse la resina se eliminan las posibles rebabas y se trabaja manualmente la pieza.

Partiendo de un modelo se pueden obtener varias copias. Éste puede ser de metal, madera, plástico e incluso yeso. Si el modelo es de madera se ha de aplicar una capa protectora sobre la superficie. Al utilizar una goma de silicona la obtención de modelos es más fácil ya que es posible deformar el molde para determinados desmoldeos.

Las resinas para prototipos industriales son la conjunción de 2 resinas termoplásticas para la producción de prototipos. Propiedades de rigidez, elasticidad y grados de transparencia están disponibles para satisfacer todas las necesidades.

Un reciente desarrollo es una resina de poliuretano que equivale al ABS y al polipropileno, los cuales son habitualmente usados para la colada en moldes. Además se han desarrollado termoplásticos con un elevado grado de transparencia y con propiedades iguales a las del ABS.

Puesto que estas resinas poseen una baja viscosidad, pueden penetrar fácilmente en todas y cada una de las cavidades del molde de goma de silicona con un buen aspecto, alta resistencia mecánica y facilidad de trabajo con el modelo final con un tiempo de curado corto. Además, la resina puede ser coloreada fácilmente, someterse a procesos de galvanoplastia y ser pintada.

Además, puesto que esta resina posee gran resistencia al impacto y alta tenacidad se puede usar, no sólo como producto de prueba, sino también para producciones cortas que preceden a la producción en masa.

## 4. FUNDAMENTOS DE LAS TECNOLOGÍAS DE SINTERIZADO SELECTIVO POR LASER (SLS)

En este apartado se estudiará más detalladamente el proceso de sinterizado selectivo por láser para la fabricación de prototipos, ya que este método de "sinterización" es objeto de la investigación, y es considerado una de las técnicas más efectivas en la fabricación de prototipos, pues es la que presenta más ventajas, tal como se ve en las tablas III-1y III-3.

El estudio de este método se basará en aplicar esta técnica para la fabricación del primer prototipo, el cual se pretende que sea el inicio para la posterior aplicación de la técnica estudiada en esta tesis para la realización de series de prototipado.

El sistema SLS (Selective Laser Sintering) ofrece muchas ventajas respecto a otras tecnologías actuales de realización de prototipos.

Mientras otros sistemas están limitados a un solo material, el Sinterizado Selectivo por Láser ofrece un amplio abanico de posibles materiales y aplicaciones, ya que todo material susceptible de ser fundido sin que se vea comprometida su estructura química, propiedad que poseen los materiales termoplásticos y los metales, se puede usar en SLS [36-38]. Por tanto, los prototipos obtenidos reflejan con exactitud el comportamiento de los materiales usados en los procesos de transformación de plásticos.

Unido al hecho de que estos materiales van aumentando cualitativa y cuantitativamente cada año con nuevas y mejores incorporaciones, se está consiguiendo dar una mayor cobertura a las necesidades del mercado así como incrementar la calidad del servicio ofrecido. De esta forma, los prototipos obtenidos actualmente no tienen nada que ver con los obtenidos hace sólo un año en cuanto a tolerancias dimensionales, acabado superficial y nivel de detalle.

El trazado de la máquina de Sinterizado Selectivo por Láser es similar al proceso "punto a punto" de la estereolitografía: Un haz de Láser solidifica las diferentes capas de una pieza. A diferencia de la estereolitografía, el polímero líquido se sustituye por una base de material polvoriento que se calienta a una temperatura próxima pero inferior a la de fusión. La solidificación selectiva tiene lugar mediante un haz de Láser guiado en el plano XY. La sinterización tiene lugar cuando el crecimiento de la temperatura provoca una disminución de la viscosidad de los granos; esto produce tensiones en la superficie que provoca una unión interfacial entre los granos, sin llegar a la fusión. El polvo que no es alcanzado por el haz no se ve afectado y actúa de soporte para la siguiente capa y para los posibles voladizos de la pieza.

El sistema SLS trabaja creando capa a capa los objetos tridimensionales. Para ello se solidifican selectivamente las partículas del material en polvo, que han sido llevadas a unas temperaturas próximas a la de fusión por medio de unos calentadores, utilizando el aporte adicional de calor generado por un láser de CO<sub>2</sub>.

En atmósfera inerte, si lo requiere el material y con el objetivo de evitar oxidaciones, se trabaja a unas temperaturas que varían entre los 120 y 180°C.

El proceso se empieza repartiendo una fina capa de polvo fungible al calor en la plataforma de la máquina. Una sección de la pieza es dibujada selectivamente por el Láser de CO<sub>2</sub> incorporado al sistema. Éste se modula para que funda selectivamente sólo la sección de pieza requerida. El



rodillo reparte una nueva capa de polvo "fresco" encima de la sección de la pieza sinterizada. Se repite el proceso capa a capa hasta conseguir la altura total de la pieza.

Este sistema tiene una velocidad de ejecución de prototipos similar a la de otros sistemas, permitiéndonos trabajar a una velocidad entre 1 y 25 mm por hora. Pero a diferencia de los otros sistemas, la pieza no ha de recibir ningún otro tratamiento posterior y puede ser usada tal y como sale de la máquina. Otra de las ventajas del sistema es que se pueden realizar varias piezas a la vez debido a la posibilidad de apilar las piezas una encima de la otra, ya que al estar en un medio sólido (el polvo no sinterizado), no son necesarias estructuras de soporte.

El sistema de capas del proceso de SLS permite la creación de piezas muy complejas sin la necesidad de estructura soporte, empalmes o reposición de porciones específicas de la geometría de diseño. El proceso también permite la creación de objetos con cavidades internas, sobrecreces, aletas dentro de aletas y otras geometrías difíciles.

#### 4.1. COMPARACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE SINTERIZADO

En el mercado mundial de la fabricación de maquinaria para obtener prototipos por SLS existen dos grandes compañías que son: DTM y EOS, aunque en la actualidad DTM ha sido adquirida por 3D-System.

Las dos compañías fabrican las maquinarias con el mismo fundamento técnico, pero lógicamente hay unas diferencias que a continuación detallamos:

- La primera en aparecer en el mercado es DTM en el año 1993, y EOS en 1995.
- Los sistemas de aportación del material son diferentes:

En las máquinas de EOS se realiza con una tolva y cuchillas y en la de DTM con rodillos.

- El espesor de la capa mínimo con la que pueden trabajar es:

DTM: 0.05 mm, EOS: 0.1 mm.

- Los sistemas de localización del láser son diferentes.
- Tamaño de las piezas obtenidas diferentes, en EOS es mayor en altura y en DTM en la base.
- Materiales con los que trabajan distintos y en EOS se necesita una máquina para cada material.

Para determinar que tecnología es la más apropiada a nuestro trabajo tenemos en cuenta los objetivos de la tesis y las características técnicas críticas que determinan el cumplimiento de nuestros objetivos con calidad.

Los parámetros críticos para la fabricación de prototipos por sinterizado son:

- Tiempo
- Definición de detalles
- Homogeneidad en la pieza

- Exactitud en dimensiones
- Resistencia del material
- Acabado superficial

Estos puntos se tienen en cuenta para definir el buen funcionamiento de la maquinaria. Por tanto, hay que determinar en cada caso qué objetivo deseamos y adecuar la máquina a tales especificaciones, que son diferentes según sea el prototipo estético, funcional o molde-prototipo.

Estos parámetros críticos son regulados con los correspondientes ajustes en máquina, que principalmente son los siguientes:

- Espesor de la capa
- Potencia del Láser
- Temperatura de trabajo

Como el objetivo de esta tesis es validar la tecnología del sinterizado para realización de prototipos y de moldes-prototipo, necesitamos trabajar al menos con dos materiales diferentes, la poliamida y el acero.

Aunque también hay que exponer que el uso de varios materiales en una misma máquina tiene algunos inconvenientes, como son el mayor gasto de mano de obra limpiando y preparando el equipo y por otro lado que cuando la máquina trabaja con metal no tiene la potencia suficiente para terminar el proceso teniendo que llevar la pieza a un horno.

En conclusión, comparando las ventajas e inconvenientes, en AIJU se decidió adquirir la tecnología de sinterizado, ya que la forma de trabajar es más precisa y el equipo es más versátil, pues podemos cambiar de material usando una misma máquina.

#### 4.1.1. UTILIDAD DE LOS PROTOTIPOS FUNCIONALES

La naturaleza versátil de esta tecnología ha hecho muy fácil la mejora de los materiales utilizados y el desarrollo de otros nuevos. No olvidemos que cualquier aplicación de esta tecnología viene ligada a la aparición o mejora de un nuevo material. Podemos hablar de fabricar moldes-prototipo porque llegó el momento en el que se podía trabajar con metales.

Así, los materiales utilizados actualmente hacen que las piezas fabricadas por SLS no tengan nada que ver con las realizadas hace unos años en cuanto a su acabado, exactitud dimensional, nivel de detalle y sus ya conocidas propiedades mecánicas.

Las piezas en poliamida (nylon) con o sin carga de fibra de vidrio, material normalmente utilizado con el propósito de construir prototipos funcionales, no sufren rotura frente a impacto, no se deterioran en condiciones extremas de esfuerzo, temperatura y humedad, son estancos (se pueden utilizar como depósitos de líquidos) y tienen las mejores propiedades mecánicas y de resistencia de todas las tecnologías competitivas actualmente en el mercado. No olvidemos que el nylon, con o sin carga, es un material muy utilizado en la industria de transformación de plásticos, por lo que ya el propio prototipo reflejará con exactitud el comportamiento mecánico de las piezas finales.



Figura III-21. Sala de máquinas de fabricación de prototipos de AIJU

#### 4.1.2. UTILIDAD EN FABRICACIÓN DE MOLDES PROTOTIPO

El desarrollo y profundización de esta aplicación de la tecnología es un objetivo de esta tesis.

La fabricación de moldes de producción para la transformación de plásticos se realiza normalmente por procesos de arranque de viruta. Son procesos costosos en tiempo y dinero. Esto provoca una rigidez muy grande dentro del ciclo de desarrollo de producto, convirtiendo, la mayoría de las veces, la creación de este molde en el paso más arriesgado del ciclo de lanzamiento de un producto. Estos moldes suelen tardar entre 3 y 8 semanas y el coste hace que sean necesarias tiradas muy largas para amortizarlos y a veces cuesta conseguir una demanda suficiente. Además, el molde es muy difícil de modificar por lo que futuras modificaciones que se pudiesen plantear en la pieza a conseguir llevaría irremediablemente a la necesidad de fabricación de otro molde con las consiguientes e importantes pérdidas económicas y temporales.

Con el SLS los moldes-prototipo usados para validar la pieza en material final y la propia funcionalidad del molde son construidos por aportación de material que es sinterizado por el láser. El tiempo se reduce drásticamente y el coste económico puede disminuir hasta en un 75% por lo

que las ventajas de desarrollar esta metodología para los fabricantes de juguetes y los transformadores de plástico son muy interesantes.

Actualmente se están fabricando moldes-prototipo en RapidSteel 2.0 y Laserform ST-100 [33,39]. Las partículas de esta aleación metálica basada en acero están rodeadas de un polímero que es fundido por el láser para conseguir lo que se denomina una pieza en verde. A continuación, tras dos procesos de horno a más de 1000 °C es eliminado el polímero, las partículas metálicas sinterizan y la pieza es infiltrada con bronce. Por lo que se obtiene un molde-prototipo capaz de producir más de 50.000 piezas en un tiempo reducido.

Otro material usado para obtener moldes-prototipo es el cobre-poliamida. Una base de poliamida es cargada con cobre metal, éste le da al material la suficiente resistencia y conductividad térmica para poder hacer viable su uso como molde de inyección para tiradas cortas (de entre 100 y 400 piezas). Con esta tecnología se pueden obtener series en material final por lo que su uso, pionero en España, permitirá no sólo validar las características del mismo molde sino también obtener una serie de piezas en material final para comprobar su funcionalidad.

#### Moldes-prototipo en Acero Inoxidable-Bronce.

A partir del fichero STL de la pieza el sistema de sinterizado transforma el polvo de acero inoxidable. El resultado del proceso es una pieza en *verde*. Tras este primer ciclo, la pieza sufre dos ciclos de calentamiento en un horno para altas temperaturas. Durante el primer ciclo de sinterizado en el horno se elimina el polímero que rodea las partículas metálicas y éstas quedan unidas. El resultado es la pieza en *marrón*. Tras este primer proceso de sinterizado, la pieza alcanza una dureza de 60 HRB, más que suficiente para la obtención de prototipos funcionales y con una estética metálica. Durante el segundo ciclo de infiltración, se funde bronce y se infiltra en la pieza porosa mediante acción capilar. De este modo, el bronce líquido ocupa los huecos dejados por el sinterizado de polvo. Tras el enfriamiento, el resultado es una pieza totalmente compacta con unas propiedades que permiten su utilización como postizo para inyección de plásticos.

Las características generales de los moldes-prototipo obtenidos en acero-bronce incluyen una conductividad térmica de 23 W/m°C y un módulo de Young de 263 Gpa. Siendo la dureza de 22 HRC (o 87 HRB). Las medidas máximas que se pueden procesar en los equipos disponibles en AIJU son: 202 x 202 x 100 mm.

Mediante un pulido posterior, se puede dotar a los moldes-prototipo obtenidos del acabado superficial deseado para su inyección. El resultado es un molde con una vida útil de 100 000 piezas.

#### Moldes-prototipo en Cobre-Poliamida.

El cobre-poliamida es un material compuesto metalo-plástico diseñado para inyección de series muy cortas (alrededor de 100 piezas) [34]. Su transformación en la estación de sinterizado permite la obtención de moldes-prototipo para inyección en un plazo de 2 ó 3 días. Tras un sencillo refinamiento superficial de las caras del molde se puede obtener una rugosidad de 2,5 micras, idónea para la inyección de plásticos.

La resistencia al calor y la conductividad térmica de los moldes-prototipo en cobre-poliámida son elevadas y permiten fabricar piezas con valores de tiempo por ciclo cortos. Además, el cobre-poliámida se puede emplear para fabricar modelos con apariencia metálica. Estas piezas tienen la durabilidad propia de las tradicionales piezas de nylon aumentando la rigidez mecánica y la conductividad térmica. La vida media de este material, sin que sus propiedades se vean alteradas es de unos doce meses, en condiciones ambientales lo suficientemente secas y temperaturas medias.

El proceso de fabricación de moldes con cobre-poliámida, precisa de la construcción en el sistema de sinterizado del molde de la pieza que se desea inyectar. Después del sinterizado a la pieza se le añade un tapaporos de base acrilato para evitar que, debido a la porosidad del material, el plástico se quede pegado y sea difícil su desmoldeo, además de para alargar la vida útil del molde. El resultado de la inyección es la obtención de una pequeña serie de copias de la maqueta deseada, con la ineludible ventaja de construirlas con un material plástico definitivo.

Las propiedades generales de los moldes-prototipo obtenidos en cobre-poliámida son conductividad térmica  $1,28 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ , Resistencia a compresión de  $88 \text{ MPa}$ , Dureza Shore "D": 75. Las medidas máximas que se procesan en AIJU son:  $340 \times 280 \times 300 \text{ mm}$ .

## 4.2. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO UTILIZADO: DTM SINTERSTATION

### 4.2.1. EQUIPO DE SINTERIZADO

En este apartado se describen las diferentes partes de la máquina Sinterstation 2500™ [38]. La figura III-22 muestra una vista frontal de las diferentes partes de la máquina en detalle.

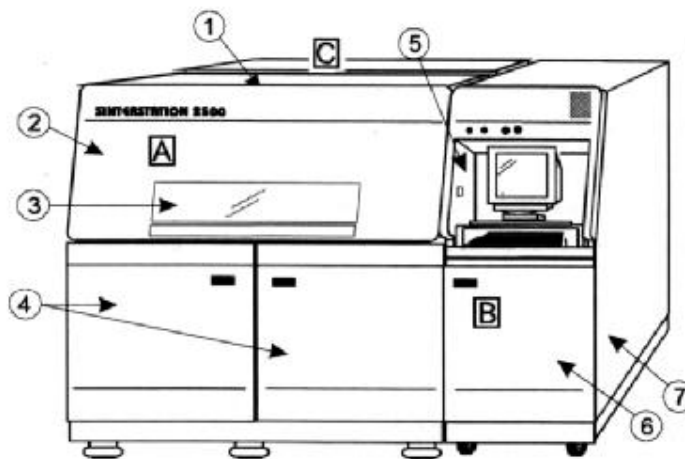


Figura III-22: Vista frontal de la estación de sinterizado 2500™.

[A] Módulo de proceso: Está compuesto por la cámara de proceso y el sistema de generación del haz de Láser.

En la cámara es donde tiene lugar el proceso de Sinterizado Selectivo. El conjunto de tratamiento del polvo está compuesto por los calentadores, los cartuchos de alimentación de polvo, el pistón de la cama de sinterizado y el rodillo.

El sistema de generación del haz de Láser incluye todos los componentes ópticos (Láser, espejos, lentes y galvanómetros). Los elementos físicos del módulo de proceso incluyen:

⌘ Acceso al sistema Láser: Permite el acceso a la fuente de Láser, así como al resto de componentes del sistema de generación y dirección del haz.

⌘ Puerta de la cámara de proceso: Permite el acceso a la cámara, módulo de la máquina que contiene los calentadores, el rodillo, y la cama de sinterizado (donde se produce la fabricación de la pieza). La atmósfera en la cámara de proceso queda definida por la Unidad de Control del Entorno (UCE).

⌘ Ventana de visión: Situada al frente de la cámara permite la observación del proceso de Sinterizado Selectivo por Láser.

⌘ Puerta de acceso al polvo: Su apertura permite el acceso a los cartuchos de alimentación del polvo, para cargar o descargar dichos cartuchos así como los de desbordamiento.

[B] Cabina de control: Se compone de la computadora, el servicio de suministro ininterrumpido de potencia (UPS) y el controlador lógico programable (PLC).

El UPS es una fuente de potencia para la computadora del sistema de sinterizado y para las partes necesarias de la cabina de control, por lo tanto, en caso de corte del suministro eléctrico la máquina se apagaría de manera ordenada.

El PLC es un conjunto de elementos lógicos de estado sólido diseñados para tomar decisiones lógicas y proporcionar Outputs. En el sistema de sinterizado, el PLC controla todos los movimientos, calentadores, Láser, inertización y enfriamiento. Los elementos físicos de la cabina de control incluyen:

⊗ Hueco del monitor: Incluye el monitor, el teclado y el interruptor de la luz de la cámara de proceso.

⊕ Acceso a la CPU: Permite el acceso a la computadora y al PLC. La CPU contiene el software de aplicación, disquete y cinta magnética. Abriendo la puerta se tiene acceso a estos dispositivos.

⊘ Panel de acceso a la CPU: Permite el acceso a los componentes electrónicos y al controlador de escáner. El acceso a este panel debe tener lugar únicamente por personal cualificado.

[C] UCE (Unidad de Control del Entorno): Esta unidad controla la atmósfera en la cámara, la inertización y el flujo de aire en el sistema de sinterizado.

A continuación se explican detalladamente las funciones de las diferentes unidades de la máquina, con los datos concretos y las fotografías realizadas en la máquina disponible en AIJU para la realización de la tesis, que es la indicada en la figura III-23.

A parte de la máquina consideramos importante también incluir los equipos necesarios para el tratamiento de las piezas ya sinterizadas. Así, la máquina se puede agrupar en los siguientes módulos:

- Módulo de proceso
- Cabina de control
- Unidad de control del entorno
- Unidad de desbroce

#### 4.2.1.1. Módulo de proceso

El módulo de proceso está formado por la cámara del proceso, el sistema de alimentación del material y el láser de CO<sub>2</sub> Polaris con el mecanismo de deflexión. Para garantizar la estabilidad de la máquina, y como consecuencia la precisión de la pieza, los tres conjuntos están integrados en una caja robusta construida con perfiles doble T, cuyo núcleo es una superficie plana con rectificado de precisión. El peso total de la estación de proceso es de 1,950 kg.



Figura III-23. Máquina de SLS DTM-2500 en AIJU

### Cámara de proceso

La cámara de proceso es una estructura de acero inoxidable montada sobre la placa de precisión. La temperatura en el entorno se controla rigurosamente con una serie de elementos calefactores y la unidad de control atmosférico (ACU). Hay un calefactor infrarrojo en cada uno de los dos cartuchos de polvo, y un tercero alrededor del cilindro donde se construyen las piezas. Con el sistema, la ACU consigue una distribución uniforme de la temperatura, recirculando continuamente la atmósfera inerte. La temperatura se monitoriza continuamente mediante sensores instalados en la cámara del proceso.

El pistón de formación de piezas está situado en el centro de la cámara del proceso, por debajo de la placa plana. Este pistón barre un volumen de 380 x 330 mm en la base y 420 mm de altura. El pistón empieza en la parte superior y va descendiendo en pasos sucesivos, según el espesor determinado de cada sección. La posición de este pistón es mandada con precisión mediante un servosistema de lazo cerrado que mueve un husillo de bolas de precisión y un motor paso a paso. Cuando la pieza está terminada, el pistón se eleva hasta su posición superior, permitiendo acceder al pastel, figura III-24 (pieza y polvo residual), y llevarlo a la unidad de desbroce donde se separa la pieza acabada.

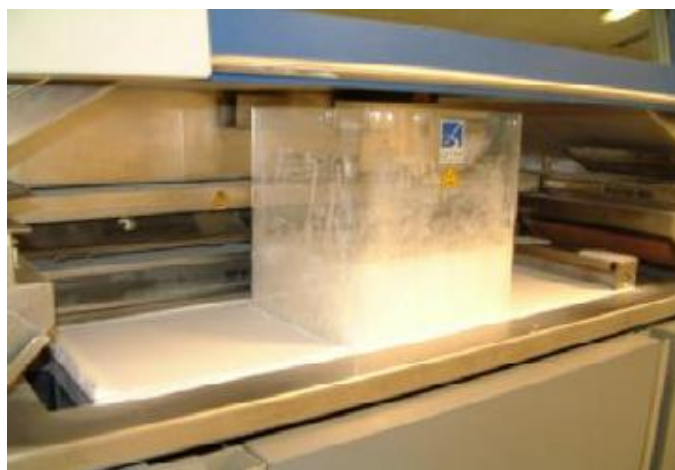


Figura III-24. "Pastel" en la unidad de proceso

### Mecanismo de alimentación del material

El material en polvo se introduce en la cámara de proceso a través del mecanismo de alimentación. Este consiste en dos cartuchos, un rodillo y dos receptáculos para recoger el exceso de material. EL material nuevo se carga en los dos cartuchos fuera de la máquina. El operador desliza los cartuchos mediante un conjunto de carriles hasta instalarlos en su lugar en el sistema Sinterstation 2500. La operación de anclaje, a su vez, sella la parte superior de los cartuchos con la superficie plana; en la figura III-25 se observan los cartuchos en la cámara de sinterizado. Las



nuevas aportaciones del material se van introduciendo en cámara del proceso, elevando la base del cartucho de alimentación con un servosistema de lazo cerrado parecido al del pistón central.



Figura III-25. Situación de los cartuchos en la unidad de proceso

Una vez que el material se encuentra sobre la superficie de trabajo, se distribuye sobre el pistón central mediante un rodillo, tal como se visualiza en la figura III-26. Este rodillo gira en sentido contrario al avance, para aplicar una capa de polvo uniforme, evitar la compactación del mismo y la aplicación de esfuerzos sobre la pieza en construcción. El rodillo esta gobernado por un servomotor y una combinación de tornillo cremallera.



Figura III-26. Rodillo distribuyendo el material

Al completar una nueva sección de la pieza, el segundo cartucho proporciona el material para la próxima capa. El proceso continua con esta alternancia hasta la finalización de la pieza.

La cámara de proceso y el mecanismo de alimentación de material se han diseñado de forma que faciliten el cambio rápido de materiales. La sustitución de un material se estima en dos horas aproximadamente.

#### Láser y componentes de deflexión del haz

El láser y los componentes de deflexión están instalados en un recinto unido a la estructura de soporte sobre la cámara de proceso. Se han tomado las medidas necesarias para que el láser este aislado térmicamente de la cámara del proceso.

El láser es de CO<sub>2</sub> de 100 vatios, presentado en un tubo sellado. Una de las ventajas de los láseres de CO<sub>2</sub> es que la potencia y distribución de la energía permanecen constantes a lo largo de la vida útil y solo presentan un rápido deterioro al final. Esto elimina la necesidad de cambiar constantemente los parámetros del proceso para adecuarlos a las fluctuaciones de energía. Su periodo de vida útil es de aproximadamente 10.000 horas.

El sistema Polaris de guiado del haz consta de dos espejos de cuadratura, una óptica de enfoque, dos espejos de deflexión y una ventana; en la figura III-27 están fotografiados. Gracias al nuevo sistema Polaris, cuando el haz sale del láser, se expande hasta cubrir la óptica de enfoque, minimizando el tamaño del punto enfocado para una determinada distancia focal. Para reducir la longitud total del recinto, se gira la trayectoria del haz con los dos espejos finos de cuadratura. Después de la óptica de enfoque, el haz se dirige a dos espejos galvanométricos que forman parte de un sistema de poca masa, respuesta rápida y alta precisión. Los galvanómetros se ajustan en fábrica mediante unas técnicas muy elaboradas de calibración, garantizando la precisión de la pieza. Los galvanómetros están gobernados por la información de cada sección que produce el software del sistema. El haz sale del recinto del láser por una ventana especial. Todo el recinto esta aislado de la temperatura y del polvo de la cámara de proceso.

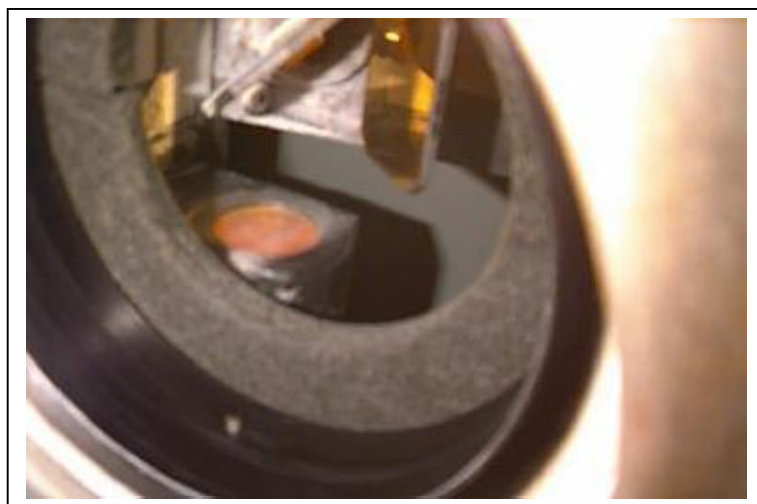


Figura III-27. Espejos y lente donde incide el láser

#### 4.2.1.2. Cabina de control

El controlador del sistema o cabina de control esta formado por:

- unidad central de proceso
- software
- controlador PLC
- comunicaciones
- sistema de alimentación ininterrumpida

La unidad central del proceso (figura III-26) es un ordenador personal compatible IBM, basado en Pentium, monitor, teclado y trackball. También dispone de 1,5 Gb de memoria RAM y un disco duro de 1000 Mb, con un mínimo de 775 Mb dedicados a ficheros. El sistema operativo es Windows 2000. El software de aplicación es el programa propietario DTM Sinterstation 2500, que incluye la configuración de la máquina, generador de secciones e interfase gráfica de usuario.

Los ficheros STL pueden cargarse en la Sinterstation 2500 de diversas maneras:

- Disco de 3,5, alta densidad
- Zip
- Red interna



Figura III-28. Unidad central del proceso

La consola de control del sistema incluye los controladores del láser, mecanismo de deflexión y controladores lógicos de la máquina. Los controladores lógicos coordinan los movimientos de la máquina, los dispositivos de seguridad y la unidad de control atmosférico.

El sistema Sinterstation 2500 equipa de forma estándar un sistema de alimentación ininterrumpida SAI. En caso de fallo de tensión, el estado del sistema operativo, los datos de la configuración de la máquina y el fichero STL se guardan y el sistema se desconecta de forma ordenada.

#### 4.2.1.3. Unidad de control del entorno

La cámara del proceso se mantiene inerte durante la construcción de la pieza, introduciendo una atmósfera de nitrógeno. Esta atmósfera inerte elimina toda reacción exotérmica debida a la presencia de oxígeno y permite el control más preciso de la energía en el punto focalizado. Se precisa suministro de nitrógeno para hacer inerte el sistema.

La UCE controla el flujo atmosférico en la cámara de proceso. Esto se consigue mediante un ventilador, un registro y un sistema de conductos. La temperatura real en la cámara de proceso se controla a través de los calefactores infrarrojos de la propia cámara y la unidad de aire acondicionado de la UCE. El ventilador y el registro hacen circular nitrógeno en la cámara del proceso, para garantizar una distribución uniforme de temperatura.

Todo el sistema de conductos es de acero inoxidable soldado e aislado, para mantener la integridad del entorno. Hay dos conjuntos de filtros en la canalización de gas de la UCE para retener posibles partículas de material.

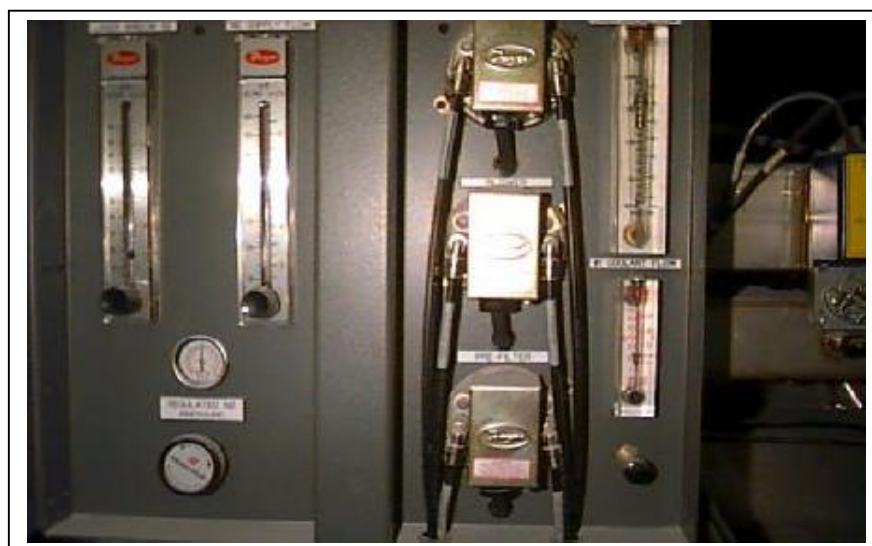


Figura III-28. Caudales de refrigeración y de control de nitrógeno

#### 4.2.1.4. Unidad de desbroce

Cuando ha finalizado la construcción de la pieza, ésta y el polvo no sinterizado en la que está embebida se retiran de la Sinterstation 2500 y se llevan a la unidad de desbroce indicada en figura III-29. En este punto se separa la pieza del polvo suelto. Este polvo se criba con un tamiz vibratorio y se recoge para su reutilización. Se utiliza un aspirador para recoger las partículas sueltas que provoca el proceso de desbroce.



Figura III-29. Bloque de polvo y piezas sinterizadas

#### 4.2.2. EQUIPO PARA MOLDES-PROTOTIPO

Para la fabricación de moldes-prototipo con el equipo de sinterizado selectivo por láser de DTM disponible en AIJU, es necesario disponer de otro equipo específico para terminar el molde y es lo que llamamos "horno de sinterizado" [40], y además hay que disponer de una serie de equipos y útiles de matricería que a continuación enunciaremos:

El equipo consta de cinco elementos:

- unidad hidráulica de transporte de materiales
- horno mufla de alta temperatura con control de atmósfera
- circuito de refrigeración
- sistema de aducción

##### Unidad hidráulica de transporte de materiales

Una de las diferencias más notables entre el trabajo con plásticos o con metales es el peso de la piezas, debido a la mayor densidad del acero. La manipulación de piezas de gran peso y

todavía relativamente frágiles a las otras fases del proceso requiere de un utillaje de transporte adecuado, tal como se ve en la figura siguiente.



Figura III-30. Unidad hidráulica de transporte de materiales

#### Horno mufla de alta temperatura con control de atmósfera

Este es el elemento clave del proceso, donde realmente se genera la pieza metálica densa. La cámara de este horno debe de tener una atmósfera controlada desde nitrógeno, para inertizarla, hasta hidrógeno, para la combustión total y sin impurezas de los polímeros auxiliares que se emplean durante la construcción, así como para mantener un ambiente de reducción adecuado para facilitar la infiltración capilar del cobre. El modelo utilizado es el "Sinter-all", de la marca Lindberg, que reúne las condiciones adecuadas.



Figura III-31. Horno mufla

#### Circuito de refrigeración

Se utiliza un circuito cerrado de refrigeración para mantener las partes sensibles de los equipos, por ejemplo juntas de silicona de la puerta del horno, dentro de temperaturas normales de trabajo. También es de utilidad para acelerar el retorno a las condiciones ambiente en la fase final.

#### Sistema de aducción

El propio calor generado en el horno de alta temperatura, así como los gases residuos de combustión generados en el proceso, tienen que evacuarse convenientemente siguiendo las normas de seguridad. Para ello se utiliza un elaborado sistema de aducción con colectores, conductos y ventilación forzada.



Figura III-32. Sistema de aducción.

### 4.3. MATERIALES UTILIZADOS POR ESTA TECNOLOGÍA

La tecnología SLS ofrece la ventaja de que permite procesar gran cantidad de materiales. Además, cada año se aumenta la oferta de los mismos y con ellos se amplían las posibilidades de aplicación de la tecnología. Los últimos materiales utilizados son los siguientes:

#### 4.3.1. MATERIALES PARA PROTOTIPOS

- Polycarbonate (LPC-3000)

Es un material resistente con excelentes propiedades mecánicas, capaz de soportar a una temperatura de 135°C y una carga de 1820 kPa, Tabla III-7. Las piezas fabricadas con este material pueden mecanizarse, pegarse con adhesivo o sufrir procesos de acabado. Algunas piezas permiten simular la calidad de las piezas inyectadas.

Las aplicaciones básicas del Polycarbonato son modelos de diseño, prototipos funcionales o modelos "master" para la microfundición. Las aplicaciones típicas del material pueden ser componentes internos de la industria del automóvil, productos de consumo como juguetes, componentes electrónicos.

Propiedades generales	Peso específico, 20°C	1.20 g/cm <sup>3</sup>
	Absorción de humedad, 20°C	0.35%
	Densidad del polvo	0.62 g/cm <sup>3</sup>
	Diámetro medio de partícula	90 μm
	Desviación del diámetro medio	30-175 μm
Propiedades térmicas	Temperatura de transición vítrea	150°C
Propiedades mecánicas	Límite de fluencia	23 MPa
	Módulo de elasticidad	1220 MPa
	Elongación a la rotura	5.0%
	Resistencia al impacto Izod	53 J/m

Tabla III-7. Propiedades físicas Polycarbonato

- Standard Nylon (LN-4010)

Compuesto de partículas de Poliamida 11 de 120 micras, con unas características muy parecidas a la Poliamida inyectada [41]. Con este material se producen gran parte de los prototipos, dada su buena definición y resistencia. Estos prototipos son totalmente funcionales tal y como salen de la máquina, teniendo que retocar solamente pequeñas zonas donde sea necesaria una tolerancia de ajuste.

Las piezas a cuya fabricación va dirigido este material son aquellas a las que se someterá a torsiones, teniendo que llevar otros elementos fijados, atornillados o que hagan la función de soporte, como pueden ser: carcasas de electrodomésticos, herramientas eléctricas o, en el sector del automóvil, tiradores, asideros, etc. Gracias a la inusual forma de creación de estos prototipos, se



pueden realizar piezas que habitualmente sólo se podían hacer mediante soplado, como botellas, depósitos, etc. y se pueden realizar las pruebas necesarias con líquidos, al estar realizados con material no poroso.

El Standard Nylon es, como su nombre indica, el material que refleja más exactamente el comportamiento del 90% de los plásticos que se podrán usar posteriormente en la inyección de la pieza final. El espesor de capa es de 0.13 mm y se pueden llegar a conseguir paredes de 0.7 mm. Este material, si es necesario, se puede pulir y pintar, para obtener prototipos funcionales y estéticos.

Propiedades generales	Peso específico, 20°C	1.04 g/cm <sup>3</sup>
	Absorción de humedad, 20°C	1.0%
	Densidad del polvo	0.58 g/cm <sup>3</sup>
	Diámetro medio de partícula	120 µm
	Desviación del diámetro medio	60-250 µm
Propiedades térmicas	Punto de fusión	186°C
Propiedades mecánicas	Límite de fluencia	36 MPa
	Módulo de elasticidad	1400 MPa
	Elongación a la rotura	32.0%
	Resistencia al impacto Izod	70 J/m

Tabla III-8. Propiedades físicas Standard Nylon

- Fine Nylon (LNF-5000)

Compuesto de partículas de Poliamida 11 de 50 micras, su comportamiento y propiedades son iguales que los del Standard Nylon [41]. El espesor de capa es de 0.10 mm y se puede llegar a conseguir paredes de 0.5 mm. Este material es el más adecuado para producir las maquetas de pequeño tamaño y gran definición. El acabado es mejor que el del Standard Nylon gracias a su menor tamaño de grano por lo que es ideal para la realización de prototipos de conectores, clavijas, etc., donde se trabaje con unas medidas muy reducidas. En contrapartida, el Fine Nylon requiere más tiempo de proceso debido al menor espesor de capa.

- ProtoForm™ Composite (LNC-7000)

Material compuesto de partículas de Poliamida 11 de 50 micras con microesferas de vidrio [41]. Es ideal para la producción de prototipos más rígidos y resistentes al calor que cualquier otro

material utilizado en la fabricación de prototipos rápidos. El espesor de capa es de 0.10 mm, y se puede llegar a conseguir paredes de 0.5 mm. Los prototipos realizados con ProtoForm™ Composite demuestran las extraordinarias características del material, como la durabilidad en condiciones adversas, así como la resistencia en ambientes abrasivos, conjuntos móviles e incluso en agua. Un ejemplo es una compañía de teléfonos celulares americana que, ante la necesidad de probar sus prototipos, los dejó expuestos al sol en el interior de un automóvil, con temperaturas ambientales muy elevadas, sin observar deformaciones en los prototipos realizados en ProtoForm™. Otra de las definiciones del material es su alta definición. Gracias a ella se pueden realizar paredes con grosor de 0.5 mm y se puede dar fácilmente un acabado suave con las técnicas usuales de pulido.

Propiedades generales	Peso específico, 20°C	1.47 g/cm <sup>3</sup>
	Absorción de humedad, 20°C	0.18%
	Densidad del polvo	0.78 g/cm <sup>3</sup>
	Diámetro medio de partícula	50 μm
	Desviación del diámetro medio	15-92 μm
Propiedades térmicas	Punto de fusión	193°C
Propiedades mecánicas	Límite de fluencia	49 MPa
	Módulo de elasticidad	2828 MPa
	Elongación a la rotura	6.0%
	Resistencia al impacto Izod	68 J/m

Tabla III-9 .Propiedades físicas ProtoForm™ Composite

- TrueForm™

Es uno de los materiales más novedosos de los empleados en el Sinterizado Selectivo por Láser, utilizado para la creación de modelos "master" para la realización de moldes de silicona y también para la microfusión . Al igual que el Polycarbonate (LPC-3000), los prototipos realizados no son funcionales, sino tan sólo estéticos o son utilizados como "masters"; además se pulen con gran facilidad.

Propiedades generales	Peso específico, 20°C	0.95 g/cm <sup>3</sup>
	Densidad del polvo	0.3-0.4 g/cm <sup>3</sup>
	Diámetro medio de partícula	33 μm
	Desviación del diámetro medio, 90%	15-60 μm
	Absorción de humedad, 20°C, humedad relativa del 65%	0.26%
	Proporción de cenizas	1.1%
Propiedades térmicas	Temperatura de transición vítrea	69°C
Propiedades mecánicas	Resistencia a la tracción	10.0 MPa
	Módulo tensional	1.1 MPa
	Elongación a la rotura	1.2%
	Resistencia al impacto Izod	8.2 J/m
Acabado superficial	Tras el proceso (Ra)	5.5 μm
	Tras el pulido (Ra)	0.7 μm

Tabla III-10. Propiedades físicas TrueForm™

- DuraForm™ Polyamide

El DuraForm™ Polyamide es una poliamida, y es el material más utilizado en la actualidad [42]. Con él se obtienen prototipos con buena resistencia y aptos para probar la montabilidad de elementos compuestos de distintas piezas. Las piezas pueden someterse a procesos posteriores de pulido y pintado, con lo que se obtienen maquetas de carácter estético. En las figuras III-33 y III-34 se ven unos ejemplos de piezas fabricadas con este material.

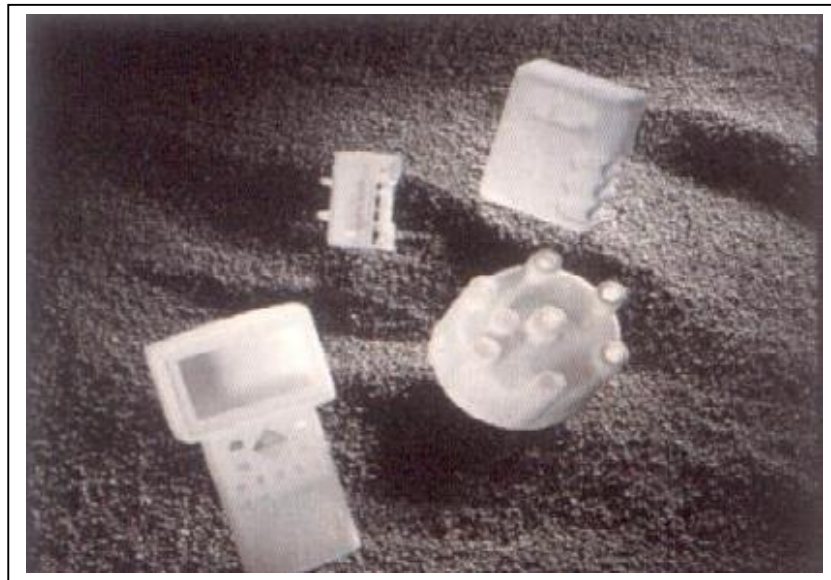


Figura III-33. Piezas fabricadas en poliamida



Figura III-34. Piezas fabricadas en poliamidas unidas

Las características del material se exponen en las tablas III-11 y 12

Propiedades generales		Método de ensayo	
	Peso específico, 20°C	0.97 g/cm <sup>3</sup>	ASTM D792
	Absorción de humedad, 20°C, 65%	0.41%	ASTM D570
	Densidad del polvo	0.59 g/cm <sup>3</sup>	ASTM D4164
	Diámetro medio de partícula	58 μm	Difracción láser
	Rango de tamaño de partícula, 90%	25-92 μm	Difracción láser
Propiedades térmicas	Temperatura de autoinflamación	450-600°C	
	Punto de Fusión	184°C	DSC
Propiedades mecánicas	Límite de Fluencia	43 MPa	ASTM D638
	Módulo de elasticidad	1517 MPa	ASTM D638
	Elongación a la rotura	8%	ASTM D638
	Módulo de flexión	1285 MPa	ASTM D790
	Resistencia al impacto Izod con muesca	216 J/m	ASTM D250
	Tras el proceso (Ra)	8.5 μm	-
Acabado Superficial	Tras el pulido (Ra)	0.13 μm	-

Tabla III-11. Propiedades físicas DuraForm™Polyamide

Propiedades resistivas			Método de ensayo
	Resistividad volumétrica 22°C, 500 V	$3.1 \cdot 10^{14}$ ohm·cm	ASTM D257-93
	Resistividad superficial	$3.0 \cdot 10^{14}$ ohm·cm	ASTM D257-93
Propiedades dieléctricas	Constante dieléctrica	2.9	ASTM D150-95
	Resistencia dieléctrica, 22°C, en aire, 500V/s	$1.6 \cdot 10^4$ V/mm	ASTM D149-95 a Método A
Propiedades aislantes	Indice de aislamiento comparativo, Ti-Cu	585 V (<1 mm de espesor)	ASTM D5388-92 y/o IEC Standard 112

Tabla III-12. Propiedades eléctricas DuraForm™Polyamide

- DuraForm™Glass Filled

El material es una poliamida reforzada con fibra de vidrio utilizado para construir modelos duraderos y funcionales [42]. Los parámetros para este material que se usan para su procesado en la estación de sinterizado son los mismos que para el DuraForm™ Polyamide. Con él se obtienen mejores acabados superficiales en las piezas y mayor resistencia debido al refuerzo de fibra.



Figura III-35. Pieza fabricada en poliamida con fibra de vidrio

Las características del material están enunciadas en las tablas III-13 y 14

Propiedades generales			Método de ensayo
	Peso específico, 20°C	1.40 g/cm <sup>3</sup>	ASTM D792
	Absorción de humedad, 23°C	0.30%	ASTM D570
	Densidad del polvo	0.84 g/cm <sup>3</sup>	ASTM D4164
	Diámetro medio de partícula	48 μm	Difracción láser
	Rango de tamaño de partículas, 90%	10-96 μm	Difracción láser
Propiedades térmicas	Punto de fusión	185°C	DSC
Propiedades mecánicas	Resistencia a la tracción	33.1 MPa	ASTM D638
	Módulo tensional	5910 MPa	ASTM D638
	Elongación a la rotura	2%	ASTM D638
	Módulo de flexión	235 Mpa	ASTM D790
	Resistencia al impacto Izod con muesca	96 J/m	D256
Acabado Superficial	Tras el proceso (Ra)	6.2 μm	SurfTest 402
	Tras el pulido (Ra)	1.0 μm	SurfTest 402
Resistencia química	Alcalinos, hidrocarburos, aceites y disolventes		

Tabla III-13. Propiedades físicas DuraForm™Glass Filled

Propiedades resistivas			Método de ensayo
	Resistividad volumétrica, 22°C, 500V	$2.0 \cdot 10^{14}$ ohm·cm	D257-93
	Resistividad superficial, 22°C, 500 V	$2.3 \cdot 10^{14}$ ohm·cm	D257-93
Propiedades dieléctricas	Constante dieléctrica, 22°C, 5 V, 1000 Hz	3.7	D150-95
	Resistencia dieléctrica, 22°C, en aire, 500 V/s	$1.5 \cdot 10^4$ V/mm	D149-95 a Método A

Tabla III-14. Propiedades eléctricas DuraForm™Glass Filled

- Dupont™Somos 201

Dupont™Somos 201 es un polímero elastómero desarrollado por Dupont™, con la especial ventaja que se pueden fabricar piezas flexibles [43]. Se pueden usar como prototipos para piezas que serán producidas en poliuretano, silicona o goma. El Somos 201 es resistente a disolventes cáusticos y a elevadas temperaturas, (propiedades en la Tabla III-15) Se puede aplicar al prototipado de sellantes para juntas, suelas de zapatos u otras aplicaciones en las que la flexibilidad es un factor fundamental.

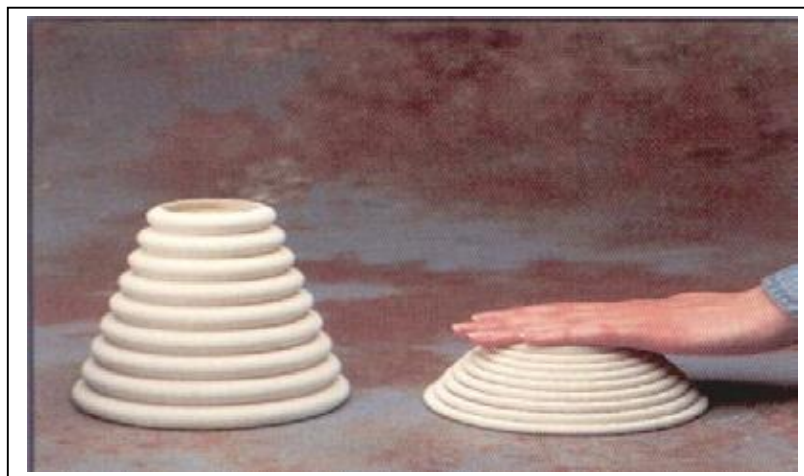


Figura III-36. Piezas fabricadas en Somos



Propiedades generales		Método de ensayo
	Peso específico, 20°C	0.91 g/cm <sup>3</sup> ASTM D792
	Densidad del polvo	0.58 g/cm <sup>3</sup> ASTM D4164
	Diámetro medio de partícula	93 μm Difracción láser
	Rango de tamaño de partícula, 90%	23-190 μm Difracción láser
Propiedades térmicas	Punto de fusión	159 °C DSC
Propiedades mecánicas	Límite de fluencia	20 MPa ASTM D638
	Tensión con 5% de deformación	0.55 MPa ASTM D638
	Tensión con 10% de deformación	0.98 MPa ASTM D638
	Módulo de flexión (-40°C)	77.9 MPa ASTM D790
	Módulo de flexión (23°C)	16.3 MPa ASTM D790
	Módulo de flexión (100°C)	5.5 MPa ASTM D790
	Resistencia al desgarro (23°C)	29.4 kN/m ASTM D1004
	Resistencia al desgarro (100°C)	6 kN/m ASTM D1004
	Resistencia a la abrasión (muela CS-17, carga de 1kg)	518 mg/1.000 ciclos ASTM D4060
Resistencia química	Resistencia a hidrocarburos, éteres, cetonas. Resistente a alcoholes, ácidos y bases hasta 70°C	

Tabla III-15. Propiedades Dupont™Somos 201

- SandForm™

SandForm™ es una familia de materiales con aplicaciones principales en la colada de metales como la fabricación sin modelo de componentes para moldes de colada. En la actualidad la familia SandForm™ está compuesta por dos materiales: el SandForm™ZrII y el SandForm™Si.

Propiedades físicas y mecánicas				Método de medida
		SandForm™ZrII	SandForm™Si	
Peso específico, 20°C	4.70 g/cm <sup>3</sup>	2.65 g/cm <sup>3</sup>		ASTM D792
Resistencia a tracción en frío	1.4 MPa	2.1 MPa		AFS 308-87-S
Permeabilidad	89	67		AFS 327-87-S

Tabla III-16. Propiedades físicas SandForm™



Figura III-37. Piezas sinterizadas en Sandform

#### 4.3.2. MATERIALES PARA MOLDES-PROTOTIPO

- RapidSteel 2.0™

El RapidSteel 2.0™ es un material metálico pulverulento a base de partículas de acero inoxidable de unas 4 micras de diámetro recubiertas de partículas de aglutinante polimérico [33], Tabla III-17.

La principal aplicación del RapidSteel 2.0™ es la fabricación de moldes-prototipo. La fabricación rápida de moldes es realmente interesante en el caso de diseño con materiales plásticos.

			Método de ensayo
Propiedades Generales	Densidad, 23°C	7.5 g/cm <sup>3</sup>	ASTM D792
Propiedades térmicas	Conductividad térmica (100°C)	23 W/m°C	ASTM E457
	Calor específico (100-150°C)	339-418 cal/g°C	DSC
	Coefficiente de expansión térmica · 10 <sup>-6</sup> (51-150°C)	14.6 m/m/°C	ASTM E381
Propiedades mecánicas	Resistencia a flexión (0.2%)	413 MPa	ASTM E8
	Módulo de elasticidad	580 MPa	ASTM E8
	Elongación	0.9%	ASTM E8
	Módulo de Young	263 MPa	ASTM E8
	Dureza Rockwell "C"	22	ASTM E18
Acabado Superficial	Tras el proceso (Ra)	6.7 μm	-
	Tras el pulido (Ra)	<0.1 μm	-

Tabla III-17: Propiedades generales RapidSteel 2.0™

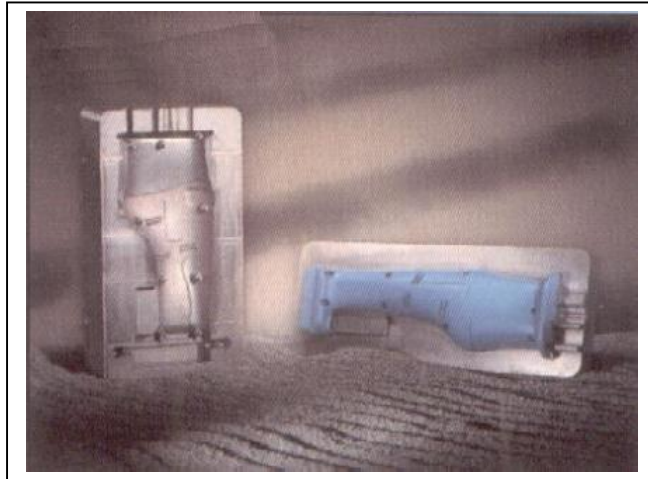


Figura III-38. Pieza fabricada en Rapid Steel 2.0

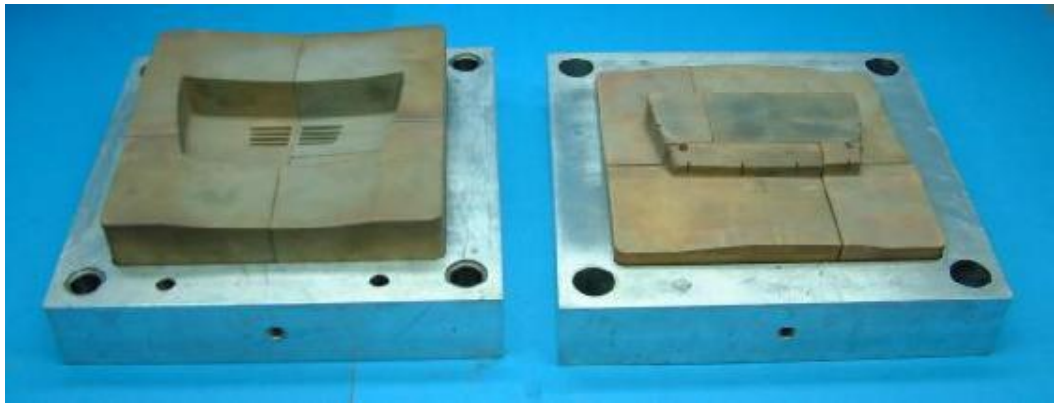


Figura III-39. Piezas fabricadas en Rapid Steel 2.0

- Laserform st-100 y st-200

El Laserform es otro material desarrollado por los fabricantes de maquinaria, y que se diferencia del Rapid steel en el proceso de tratamiento en el horno [39,40]. Con el laserform la eliminación de la resina epoxi y la infiltración del bronce se realizan en un solo ciclo de horno, con lo cual el tiempo de fabricación del molde es mas corto.

Las diferencias entre un laserform y otro son la dureza y resistencia del material al ser sinterizado, así los materiales de nueva aparición son resultados de investigaciones, cuyos objetivos son mejorar los puntos más críticos del proceso, como son los ciclos del horno o la fragilidad de las piezas al extraerlas de la máquina de sinterizado.

Las características **del** laserform ST-100 son enunciadas en las tablas III-18,19 y 20

PROPIEDADES	UNIDADES	VALOR
Resistencia a la Rotura	MPa	587
Resistencia a la Deformación	MPa	326
Elongación	%	12
Dureza Rockwell "B" infiltrado	-	87
Dureza Rockwell "B" mecanizado	-	79

Tabla III-18. Propiedades mecánicas

PROPIEDADES	UNIDADES	VALOR
Densidad a 23° C	g/cm3	7.7

Tabla III-19. Propiedades físicas

PROPIEDADES	UNIDADES	VALOR
Conductividad Térmica A los 100 °C	W/m°C	49
A los 200 °C		56
Coefficiente Térmico (Expansión x 10 <sup>-6</sup> ) de 51 a 150 °C	mm/°C	12.4

*Requiere infiltración de Bronce a un 72 % del peso de la pieza en verde*

Tabla III-20. Propiedades térmicas

Las características del Laserform st-200 son enunciadas en las tablas III-21, 22 y 23

PROPIEDADES	UNIDADES	VALOR
Resistencia a la Rotura	MPa	435
Resistencia a la Deformación	MPa	250
Elongación	%	6
Dureza Rockwell "B" infiltrado	-	79
Dureza Rockwell "B" mecanizado	-	73

Tabla III-21. Propiedades mecánicas

PROPIEDADES	UNIDADES	VALOR
Densidad a 23° C	g/cm <sup>3</sup>	6.73

Tabla III-22. Propiedades físicas

PROPIEDADES	UNIDADES	VALOR
Conductividad Térmica A los 215 °C	W/m°C	39
Coefficiente Térmico (Expansión x 10 <sup>-6</sup> de 51 a 150 °C)	mm/°C	7.45

*Requiere infiltración de Bronce a un 85 % del peso de la pieza en verde*

Tabla III-23. Propiedades térmicas

- Copper Polyamide

El Copper Polyamide es un nuevo material compuesto metalo-plástico diseñado para inyección de series muy cortas (50-100 piezas) [34]. Se pueden obtener moldes rápidos para inyección en Copper Polyamide sin necesidad de ningún tipo de proceso de curado en horno. Los materiales plásticos probados con resultados favorables en la inyección son polietileno, polipropileno y ABS. La resistencia al calor y la conductividad térmica del Copper PA son elevadas y permiten fabricar piezas con valores de tiempo por ciclo cortos. Además, el Copper PA se puede emplear para fabricar piezas con apariencia metálica. Estas piezas tienen la durabilidad propia de las tradicionales piezas de nylon, aumentando la rigidez mecánica y la conductividad térmica.

La vida media de este material, sin que sus propiedades se vean alteradas, es de unos doce meses, en condiciones ambientales lo suficientemente secas y temperaturas medias.

				Método de ensayo
		Construido con un ángulo de 15°	Construido sobre plano horizontal	
Propiedades generales	Densidad, 23°C	3.45 g/cm <sup>3</sup>		ASTM D792
Propiedades térmicas	Temperatura de fusión	170°C		DSC
	Conductividad térmica (40-150°C)	1.28-0.92 W/m°C		E-1530
	Coefficiente de expansión térmica (30-150°C)	92.6 · 10 <sup>-6</sup> m/m/°C		E-831
	Calor específico (40-150°C)	0.66-0.87 J/g°C		DSC
Propiedades mecánicas	Resistencia a tracción última	33.6 MPa	35.9 MPa	D-638
	Resistencia a flexión, deformación del 5%	53.5 MPa	58.3 MPa	D-790
	Módulo de flexión	3068 MPa	3223 MPa	D-790
	Resistencia a compresión	88 MPa	99MPa	D-695
	Dureza Shore "D"	75	75	D-2240
Acabado superficial	Tras el proceso (Ra)	27.7 μm	12.5 μm	-
	Tras el pulido (Ra)	5.2 μm	2.5 μm	-

Tabla III-24. Propiedades Copper-polyamide

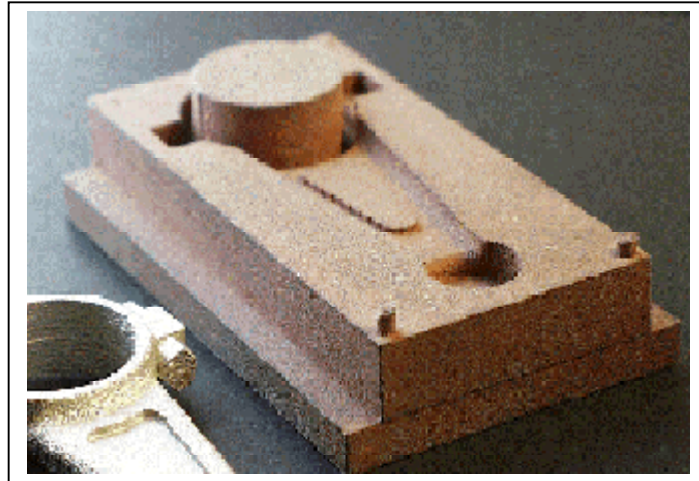


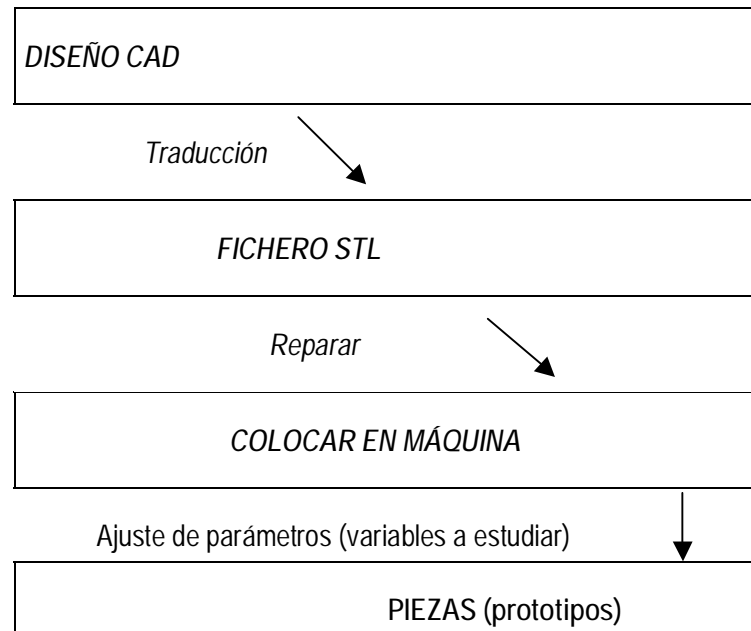
Figura III-40. Molde-prototipo fabricado en cobre-poliamida

#### 4.4. CONDICIONES EXPERIMENTALES DE TRABAJO

##### 4.4.1. METODOLOGÍA PARA OBTENER CADA PROTOTIPO

A continuación se resumen las fases que se han tenido en cuenta para obtener los prototipos utilizados en este trabajo.





- En el caso de Prototipos y Moldes Prototipo de Cobre Poliamida, aquí acaba el proceso de Sinterizado
- En el caso de Moldes Prototipos con otros materiales, queda una segundo proceso de Infiltración en Horno

#### 4.4.2. RESUMEN DE LAS VARIABLES A ESTUDIAR EN CADA ETAPA DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE LOS PROTOTIPOS

En el siguiente esquema hemos sintetizado las variables que se tendrán en cuenta para la realización de cada prototipo. Están definidas en cada etapa del proceso, y se fabricarán piezas permaneciendo unas constantes y otra se variará, determinando así el efecto de las variables sobre la pieza final.



#### 4.4.3. VARIABLES EXPERIMENTALES PARA CADA MATERIAL

MATERIAL	ESPESOR DE CAPA	POTENCIA LÁSER	TEMPERATURA DE TRABAJO	DE
Poliamidas	0.1 mm	9 watos	153 °C	
Somos	0.18 mm	9 watos	130 °C	
Acero	0.08 mm	(24-36) watos	90 °C	
Cobre-PA	0.2 mm	12 watos	188 °C	

#### 4.4.4. EQUIPAMIENTO UTILIZADO PARA LA REALIZACIÓN DE LAS TAREAS EXPERIMENTALES

Equipo	Tarea
1. Hardware y software para realización de diseños CAD	Diseño de las piezas y los insertos de acero
2. Estación de sinterizado Sinterstation 2500 3. Estación de sinterizado Sinterstation 2500 plus 4. Horno de infiltración de bronce 5. Hardware y software para el tratamiento de los ficheros STL. 6. Sistemas de suministro de gases (nitrógeno, hidrogeno y propano) para sinterizado.	Obtención de los prototipos y los insertos mediante sinterizado selectivo por láser
7. Inyectora Demag 8. Molino Triturador Rego	Inyección de piezas con diferentes termoplásticos utilizando los moldes obtenidos

## 5. PROCESO DE FABRICACIÓN

En general el fundamento de la técnica de sinterizado es el mismo para fabricar prototipos que para moldes-prototipo. Si que hay diferencias concretas en los procedimientos de operación en máquina para cada material y sobre todo en el tratamiento del molde-prototipo, tanto en la fase inicial del diseño como en el acabado de las piezas.

Así las operaciones específicas se explican en dos apartados diferentes, dependiendo de cual sea el objetivo final del prototipo a realizar.

Cuando hablamos de "prototipo" estamos generalizando que este puede ser en cualquier material (por ejemplo metal) y cuando hablamos de molde-prototipo estamos concretando que se ha fabricado por sinterizado un prototipo en metal y que además es utilizado como molde.

Por lo tanto las explicaciones en la fabricación de prototipos son de aplicación para todos los materiales.

## 5.1. FABRICACION DE PROTOTIPOS

La siguiente figura muestra, con generalidad, la forma de trabajo de la Sinterstation (estación de sinterizado) 2500™ [38]. Una breve explicación de las etapas del proceso se desarrolla a continuación de la ilustración.

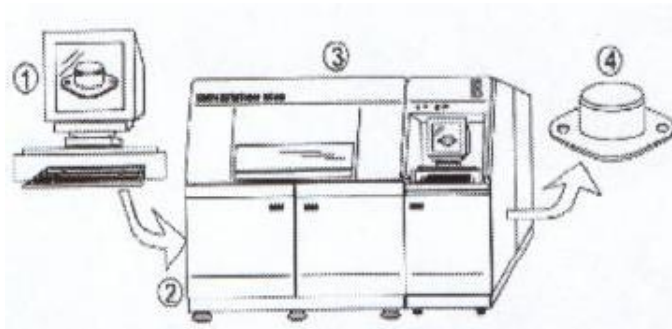


Figura III-41: Proceso de Sinterizado Selectivo por Láser.

✖ Diseño del modelo en CAD.

§ Transferencia de los ficheros a la computadora de la Sinterstation 2500™ en formato STL.

→ Construcción de las piezas en la cámara de proceso de la Sinterstation 2500™:

- Un rodillo alimenta con una fina capa de polvo a una plataforma plana situada sobre un contenedor rectangular.
- Un rayo Láser es trazado sobre esta capa, sinterizando áreas específicas de acuerdo con las instrucciones proporcionadas por el fichero de CAD.
- La plataforma desciende una distancia muy pequeña.
- El rodillo proporciona una nueva capa de polvo.
- El Láser sinteriza un área selectiva de esta capa para formar la siguiente sección de pieza, que queda a su vez “adherida” a la capa anterior.

↓ El proceso continúa, capa a capa, hasta que la totalidad de la pieza tridimensional esté completa. El polvo no sinterizado queda en el contenedor durante el proceso, sirviendo de soporte natural para la pieza.

El sistema SLS trabaja creando capa a capa los objetos tridimensionales, partiendo de la solidificación selectiva de las partículas de polvo y utilizando el aporte de calor generado por un Láser de CO<sub>2</sub> incorporado al sistema.

Los ficheros de CAD, en formato STL, son "cortados" en finas capas y dibujados mediante un fino rayo Láser en una superficie cubierta por una leve capa de partículas de polvo. Éstas se derriten, soldándose a la capa anterior por lo que encajan perfectamente al diseño realizado en CAD. A medida que se funden las capas, las piezas van cogiendo forma en el interior de la máquina. Una vez terminado el proceso, sólo falta limpiar el polvo sobrante que no ha sido solidificado estando la pieza preparada para su montaje.

El proceso empieza repartiéndole una fina capa de polvo fungible al calor en la plataforma de la máquina. Una sección de la pieza es dibujada selectivamente por un Láser de CO<sub>2</sub> incorporado al sistema; éste se modula para que funda selectivamente sólo la sección de pieza requerida.

El rodillo reparte una nueva capa de polvo "fresco" encima de la sección de pieza sinterizada. Repetimos el proceso capa a capa hasta conseguir la altura total de la pieza.

Este sistema tiene una velocidad de ejecución de Prototipos similar a la de otros sistemas, permitiéndonos trabajar a una velocidad entre 1 y 25 mm por hora..

Una de las ventajas del sistema es que se pueden realizar varias piezas a la vez, debido a la posibilidad de apilar las piezas una encima de la otra, ya que al estar en un medio sólido (el polvo no sinterizado) no son necesarias estructuras de soporte.

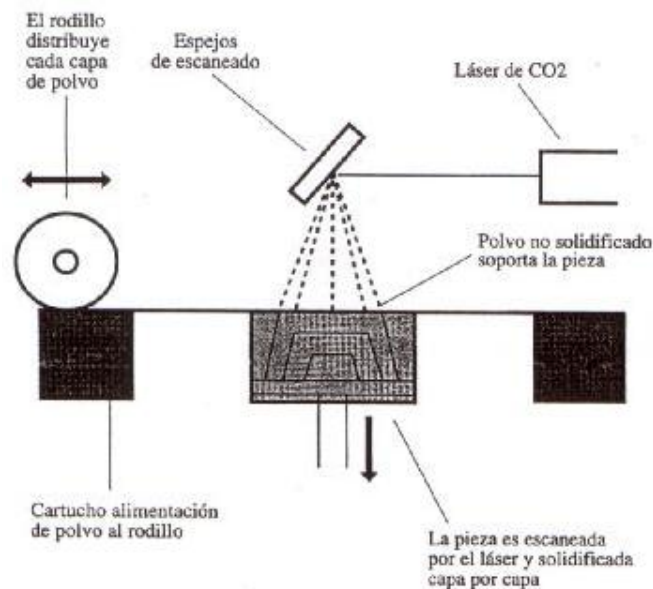


Figura III-42. Esquema del proceso SLS.

La intensidad del haz de Láser se modula para sinterizar el pulverizado solamente en áreas definidas por la geometría de diseño del objeto. En áreas no sinterizadas el material en polvo sirve como soporte natural para la siguiente capa de pulverizado y del objeto bajo fabricación. El proceso SLS requiere la utilización de herramientas informáticas de CAD, con diseños creados preferiblemente en superficies tridimensionales o de forma sólida.

El sistema de capas del proceso de SLS permite la creación de piezas muy complejas sin la necesidad de estructuras soporte, empalmes o reposición de porciones específicas de la geometría de diseño. El proceso también permite la creación de objetos con cavidades internas, sobrecreces, aletas dentro de aletas y otras geometrías complicadas.

El proceso de SLS puede utilizar una gran variedad de materiales. De hecho, virtualmente cualquier material que reblandezca y tenga viscosidad disminuida bajo el calor puede ser utilizado potencialmente. Los materiales para SLS más comunes incluyen policarbonatos, nylon y materiales metálicos.

La figura III-43 muestra un esquema de las operaciones a llevar a cabo para fabricar una pieza mediante la estación de sinterizado 2500™.

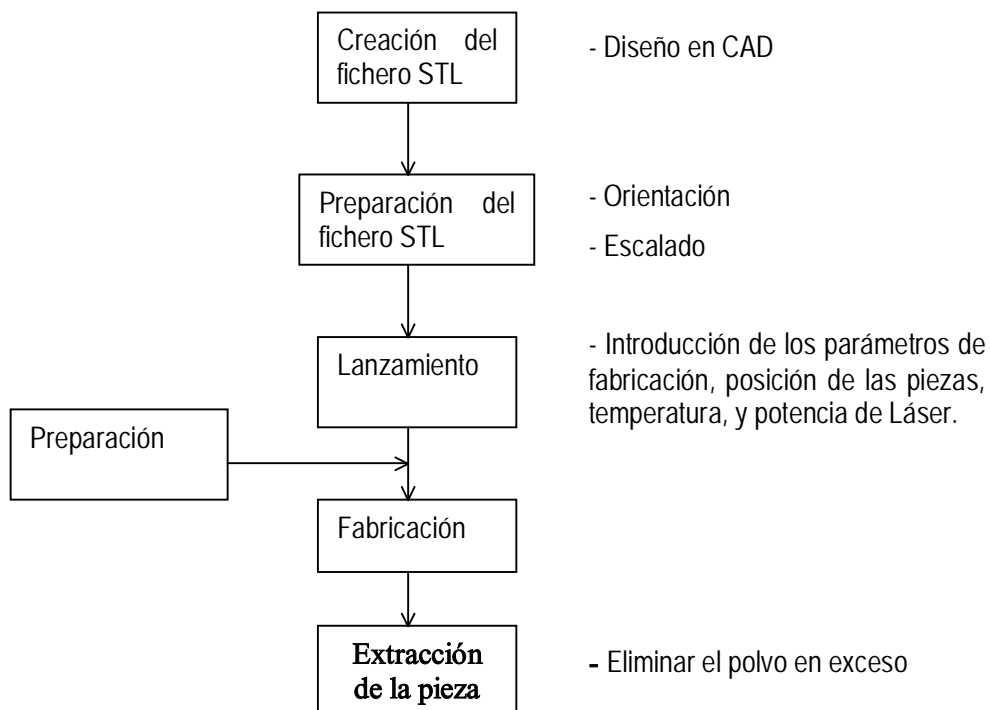


Figura III-43. Diagrama de operaciones en el Sinterizado Selectivo por Láser

Las operaciones descritas anteriormente son las que explicamos a continuación:

- Diseño del modelo en CAD.

La pieza es diseñada en 3D, y son útiles todos los programas de diseño, solo hay que poder pasarlo después a STL.

- Transferencia de los ficheros a la computadora de la Sinterstation 2500™ en formato STL

- Construcción de las piezas en la cámara de proceso de la Sinterstation 2500™.

En esta fase hay que definir los parámetros en máquina, dependiendo éstos del material a utilizar y del tipo de prototipo a obtener. Es un apartado muy crítico pues de estos datos depende la calidad del producto final.

La construcción se lleva a cabo con las etapas descritas a continuación:

- Un rodillo alimenta con una fina capa de polvo a una plataforma plana situada sobre un contenedor rectangular
- Un rayo Láser es trazado sobre esta capa, sinterizando áreas específicas de acuerdo con las instrucciones proporcionadas por el fichero CAD
- La plataforma desciende una distancia muy pequeña
- El rodillo proporciona una nueva capa de polvo
- El Láser sinteriza un área selectiva de esta capa para formar la siguiente sección de la pieza, que queda a su vez "adherida" a la capa anterior
- El proceso continúa, capa a capa, hasta que la totalidad de la pieza tridimensional está completa. El polvo no sinterizado queda en el contenedor durante el proceso, sirviendo de soporte natural para la pieza.

- Extracción del pastel de la Sinterstation 2500 y limpieza de la pieza de residuos de materiales.

El "pastel" se extrae con un cubo de metacrilato ajustado a las dimensiones del cilindro central, y éste es llevado a la unidad de desbroce.

Esta etapa es sencilla pero delicada, hay que tener cuidado al limpiar las piezas si hay partes que sobresalen o si el diseño es complejo, pues se pueden llegar a romper los prototipos.

Cuando el prototipo es de metacrilato, la pieza en el pastel está poco sinterizada y no se puede llevar a la unidad de desbroce, así hay que limpiarla directamente en máquina con mucho cuidado, llevándose después las piezas a la unidad de horno.

## 5.2. FABRICACION MOLDE PROTOTIPO

Tal como se ha indicado en el apartado anterior el fundamento del proceso es el mismo que para la fabricación de prototipos. Así en este capítulo se exponen las operaciones que requieren algunas diferencias concretas propias del objeto a sinterizar y otras que son comunes para la obtención de moldes.

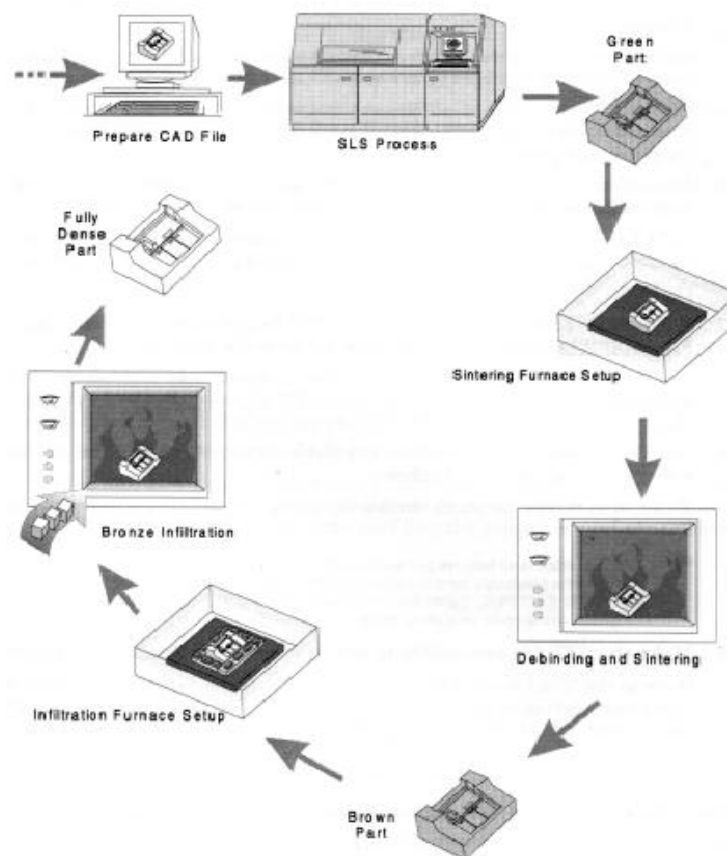


Figura III-44. Esquema de las etapas para fabricación de moldes-prototipo

A continuación detallamos en cada etapa los pasos más importantes que hay que tener en cuenta.



### 5.2.1. DISEÑO EN CAD

Para fabricar el molde prototipo hay que partir del diseño de la figura en 3D y de ahí diseñar el molde.

Desde el momento en que surge la idea de fabricar una serie de piezas plásticas para una determinada aplicación, se debe proceder a la fabricación de moldes con la forma del negativo de las piezas, para el proceso de conformado que vayan a sufrir las mismas.

El proceso de diseño del molde para la posterior obtención de piezas inyectadas ofrece, en la actualidad, muchas ventajas basadas en el uso de programas de CAD.

Mediante un programa de CAD, como el I-DEAS, que es el utilizado en AIJU (ejemplo en la figura III-45), podemos dibujar la figura en tres dimensiones de la pieza de la que se desean hacer copias en plástico. El proceso es sencillo y el resultado es una figura tridimensional que servirá de modelo para el diseño del molde.

#### Diseño del molde mediante un programa de CAD

La primera de las posibilidades, y en la actualidad la más extendida, es el diseño del molde mediante la utilización de un Software de CAD como el I-DEAS. El proceso de generación es el habitual en diseño de productos. En un plano 2D se plasma la idea de la pieza que se desea obtener dibujando ésta en tres dimensiones, y así se obtendrá directamente el objeto.

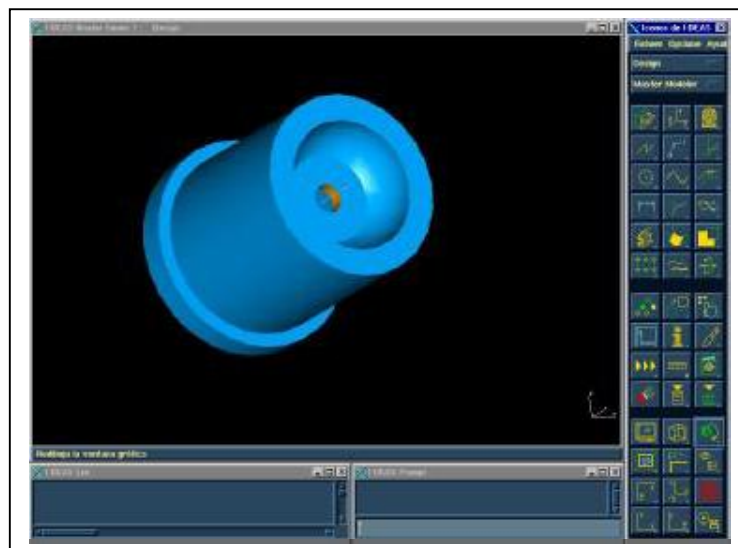


Figura III-45. Diseño de una pieza

Los avances conquistados en áreas de diseño, permiten la obtención de los postizos para conseguir moldes directamente mediante aplicaciones de los softwares existentes en el mercado. Por ejemplo, el programa de Software Magics disponible en AIJU ofrece la posibilidad de generar, a

partir del dibujo de la pieza de la que se desean obtener copias, el fichero de los postizos (macho y hembra) para inyección de plásticos, como es el ejemplo visualizado en la figura III-46.

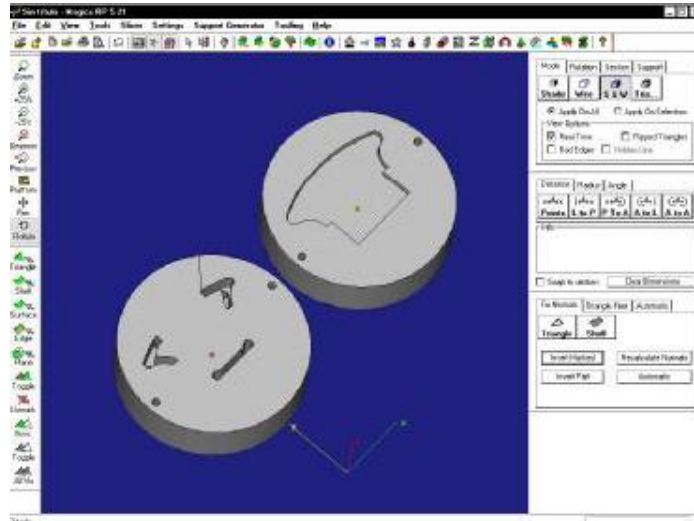


Figura III-46. Diseño del molde.

#### Diseño del molde mediante la sustracción de la figura

El programa Magics ofrece la opción de sustraer a un molde patrón la figura de la pieza que se desea fabricar.

Es un proceso rápido y cómodo. Para la fabricación de los distintos moldes que se desean probar posteriormente en las máquinas de conformado, se pueden dibujar con escalones que faciliten el acople, guías que lo cierren o preparar los postizos para un determinado porta-moldes del que sólo es necesario cambiar la pieza a sustraer.

Se han probado otros programas de diseño de moldes y en la actualidad hay proyectos en curso estudiando la viabilidad de ellos.

Hay que resaltar que la fase del diseño del molde es lenta comparada con la rapidez de las otras fases y es por lo que requiere una investigación aparte.

Es importante tener presente al diseñar el molde las dimensiones del portamoldes a utilizar, y por supuesto, todas las características propias de la teoría del planteamiento y diseño de moldes, como son el material a transformar, la máquina a utilizar, etc.

El método utilizado en este proyecto preferentemente ha sido diseñar los moldes con un programa de CAD, ya que los programas que hacen éstos automáticamente están bastante limitados a moldes de inyección y el control sobre el proceso y la posibilidad de realizar modificaciones es bastante reducido.

Es importante reseñar que los diseños realizados han de ser convertidos al formato STL desde el formato origen CAD. No suele haber problemas graves en la realización de este proceso si se tiene un programa de CAD con una calidad alta y la cadena de intercambio de formatos no tiene

que pasar por un paso deficitario. Actualmente la mayoría de programas de diseño en 3D tienen un buen exportador de archivos a formato STL.

### 5.2.2. CONSTRUCCIÓN DE LAS PIEZAS

#### Sinterización

Los ficheros STL obtenidos deben prepararse para trabajar en el sistema de sinterizado y producir una pieza en "verde" en óptimas condiciones. Se debe sobredimensionar las zonas críticas de las piezas, nervios y huecos con valores comprendidos entre 0.2 y 0.4 mm para permitir el pulido posterior. Además se debe añadir una superficie de 0.4 mm en las zonas exteriores para pulido y acabado superficial deseado.

Además de la sinterización del molde, es necesario sinterizar las placas donde se van a depositar los cubos de bronce que infiltrarán la pieza durante el proceso de horno.

Se debe tener en cuenta cuales son las medidas máximas admisibles de las piezas que se podrán fabricar en el proceso de Sinterizado Selectivo por Láser. La cama de la estación de sinterizado tiene unas dimensiones máximas de 340 x 280 x 300 mm, mucho mayores que las dimensiones máximas del crisol que se introduce en el hogar del horno que tenemos en AIJU, CARBOLITE (278 x 278 x 100 mm) [46]. Si a estas medidas máximas le restamos las medidas de las placas de infiltración estandarizadas, el resultado es que las medidas máximas de las piezas que se pueden infiltrar son 202 x 202 x 100 mm.

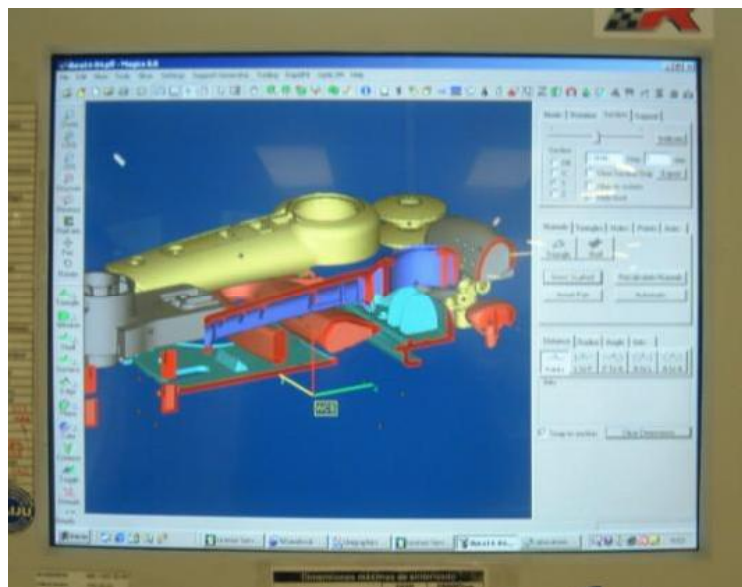


Figura III-47. Piezas ya colocadas antes de enviar a sinterizar

El siguiente paso es colocar los archivos STL en la base de la máquina optimizando el espacio y la altura para disminuir el coste del proceso. La colocación de las piezas se realiza con el programa Magics RP. Es un proceso sencillo ya que el software permite rotar, desplazar y colocar las piezas de una forma muy intuitiva. En la figura III-47 se ve la colocación de las piezas en el cubo de la máquina.

La colocación de las piezas se puede realizar en el despacho y por medio de una red interna, transmitir la colocación de las piezas a la máquina de sinterizado.

### Compensaciones dimensionales del proceso

El sistema Láser permite dirigir y focalizar la potencia con una precisión muy elevada. Esta propiedad, que en otras aplicaciones permite, por ejemplo, realizar cortes muy precisos, en el sistema de Sinterizado de DTM<sup>TM</sup> corporation supone que podamos mediante el haz, fabricar piezas con tolerancias de centésimas de milímetro.

No obstante, es intuitivo comprender que por muy puntual que pueda llegar a ser el haz, a nivel microscópico, éste tiene un radio que puede provocar que la pieza tenga unas dimensiones finales, que serían las resultantes de sumar a las de la pieza dos veces el radio del haz incidente. Este fenómeno se denomina Offset. Es por tanto necesario corregir este fenómeno haciendo que el láser no avance hasta medio radio de distancia de la dimensión requerida. Además del offset, es necesario calcular los valores de escala para cada material a sinterizar. Para el RapidSteel 2.0<sup>TM</sup> se debe tener en cuenta los cambios dimensionales que ocurren durante el proceso SLS y los posteriores ciclos de calentamiento en el horno. Así, los valores de escala pretenden contrarrestar las posibles contracciones y dilataciones de la pieza durante el proceso de horno y sus enfriamientos.

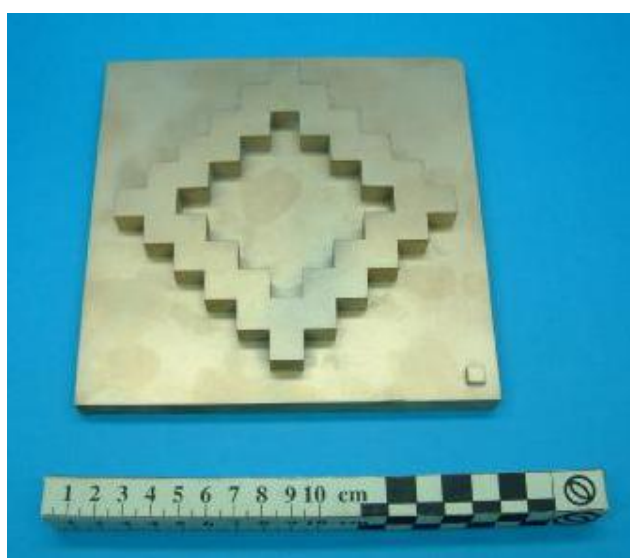


Figura III-48. Pieza utilizada para realizar escala

En el proceso de cálculo de Offset y de los valores de escala es necesario disponer al menos de un pie de rey capaz de medir dimensiones con una precisión de una centésima.

Para ello se sinteriza y se introduce en el horno una pieza que llamamos "escala", véase la figura III-48, en la que se miden las dimensiones reales en x e y. Con estos valores reales por medio de una hoja de cálculo se calculan los coeficientes de escala que multiplican todas las dimensiones de la pieza para compensar la posterior contracción; así como el valor de Offset, que se introduce por medio del Software del equipo para ser tenido en cuenta a la hora de que el láser escanee la superficie de la pieza a sinterizar.

#### Puesta en funcionamiento de la máquina

Antes del lanzamiento de la producción de una pieza o de un conjunto de piezas se debe limpiar convenientemente los elementos de la cámara de proceso en contacto con el polvo, para evitar contaminación con otros tipos de material.

Se debe verificar que el caudal de nitrógeno contiene suficiente gas para completar la fabricación de la carga. En caso de no alcanzarse el flujo mínimo de nitrógeno en la cámara de procesos, la presencia de oxígeno en el interior de la máquina detendría el proceso, y la consiguiente necesidad de lanzar de nuevo la producción de la carga.

Se deben cargar los depósitos de material del equipo así como limpiar la óptica del sistema. Antes de reutilizar el polvo, comprobar que no contiene partes aglomeradas ni impurezas que se pudieran haber formado durante el proceso de Sinterizado Selectivo por Láser. Si fuese necesario se ha de tamizar el polvo. En la figura III-49 se observa la tamizadora y los cartuchos con el material.



Figura III-49. Tamizadora y cartuchos con material

### Definir parámetros y lanzamiento de la construcción

El siguiente paso es definir los parámetros que necesita la estación de sinterizado para producir la carga con éxito. Entre estos parámetros se incluye el tipo de material que se va a procesar, la altura total de la carga que define la cantidad de polvo necesaria, la posibilidad de añadir una pieza a una carga existente o cambiar la posición de las piezas dentro de la cámara de procesos.

Los principales factores que afectan a la construcción son la temperatura y la potencia del láser que se le aplica al material, así como las condiciones de contorno de la carga, ya que hay 5 calentadores que deben aplicar la temperatura adecuada a todas las zonas de la construcción y durante las tres fases del proceso: calentamiento, construcción y enfriamiento.

#### - Calentamiento

Esta etapa tiene una duración de unos minutos para el material. Durante esta fase se estabiliza la temperatura de la cámara de procesos en la cama de sinterizado y en la base de los cartuchos de alimentación. Durante esta etapa el pistón central baja mientras el rodillo deposita capas finas de material. El sistema eleva la temperatura del polvo, que va a estar por debajo de las piezas, de 10°C a 20°C por debajo de la temperatura de fusión del aglutinante. La temperatura de los cartuchos de alimentación también se eleva para facilitar la fluidez del material. Este calentamiento también minimiza el choque térmico al entrar en contacto el polvo "frío" con la cama de trabajo a mayor temperatura.

#### - Construcción

Durante esta etapa se realiza el Sinterizado Selectivo por Láser. La fase de construcción mantiene las temperaturas de la cama central y del polvo de los cartuchos de alimentación. La energía aportada por el haz de rayo Láser funde el polvo depositado, y el aporte de una capa posterior enfría y solidifica la capa anterior. El ritmo de enfriamiento depende de la masa y de la geometría de la pieza en construcción. El aporte de calor por la zona inferior de la cama ralentiza el proceso de enfriamiento.

El valor de la potencia del láser apropiada se selecciona en la ventana de descripción de la pieza del programa de la máquina. La resistencia en "verde" de la pieza fabricada mediante SLS varía entre 1.4 y 2.1 Mpa, dependiendo de las condiciones del proceso y de la geometría de la pieza. A muy baja potencia de láser, el aglomerante no funde y con el aumento de la potencia, crece la resistencia en "verde" de la pieza. Sin embargo, demasiada energía puede provocar la descomposición del aglomerante, lo que conlleva una menor resistencia en "verde". Por consiguiente, existe una potencia de Láser óptima para obtener una máxima resistencia en "verde". El valor óptimo de dicha potencia debe ser ajustado por el operario de acuerdo con los resultados obtenidos en las distintas pruebas realizadas para determinarlo.

- Enfriamiento

Permite que el polvo, las piezas construidas y la maquina se enfrien lentamente para evitar deformaciones en las piezas o daños al polvo no sinterizado. Esta fase tiene una duración aproximada de 30 segundos para el metal, cuando la fase de enfriamiento finaliza, las piezas, el polvo y la maquina permanecen calientes. Hay que tener cuidado al extraer las piezas y esperar a que alcancen la temperatura ambiente antes de limpiarlas pues un choque térmico podría deformarlas.

El proceso de enfriamiento para la poliamida es de varias horas.

### 5.2.3. EXTRACCIÓN DE UNA CARGA DE METAL

El proceso de descarga de una carga de metal es distinto al empleado para la extracción de otro tipo de material. El elevado peso del "pastel" hace inviable la extracción de todo el conjunto. Además, la débil resistencia de las piezas en "verde" obliga al operario a actuar extremando las precauciones para no dañarlas.

Para proceder a la extracción de las piezas se debe subir el pistón central paulatinamente y eliminar el polvo con la ayuda de una brocha de pintura, de cerdas naturales y suaves. Se procede de este modo hasta que empiezan a aparecer las piezas de entre el polvo no sinterizado que se elimina.

Conforme van apareciendo las piezas de entre el polvo no sinterizado, se va eliminando el polvo de las piezas de la cama, tal como se ve en la figura III-50. Éstas han de ser extraídas con sumo cuidado y una vez eliminada buena parte del polvo residual, las piezas se depositan sobre una bandeja y se trasladan a la zona de desbroce donde se completa la limpieza.



Figura III-50. Piezas ya sinterizadas en la Cámara de Proceso

El polvo que se extrae de la cama central se puede volver a depositar en los cartuchos, siempre y cuando no se aprecien partes apelmazadas o desechos en éste. En caso contrario será necesario tamizar el material.

Se cepilla el polvo sobrante sobre la pieza realizando ligeras pasadas con la brocha de cerdas suaves, como una artística de pelo de camello. Para esta tarea se puede ayudar con una pequeña corriente de aire.

Se han de manejar siempre las piezas únicamente por superficies no-críticas, como son las esquinas exteriores del inserto. Si volvemos la pieza para eliminar polvo de huecos interiores, asegurarse de que no se tocan zonas delicadas.

Pulir la pieza, restregándola suavemente sobre una superficie lisa haciendo movimientos en forma de ocho. El pulido de la pieza asegura la obtención de una superficie inferior más uniforme.

#### 5.2.4. PROCESO DE INFILTRACIÓN EN HORNO

Según los materiales utilizados hay procesos diferentes, que a continuación se exponen:

##### Proceso para el RapidSteel 2.0

Dos ciclos de calentamiento se requieren para producir una correcta pieza totalmente compacta. En el primero de ellos se pretende eliminar por vaporización el aglomerante que contiene el polvo de RapidSteel 2.0 y cohesionar las partículas de metal. Durante el segundo ciclo el objetivo es infiltrar la pieza en "marrón", mediante el aporte de cubos de bronce que al fluir ocupan los huecos de la pieza.

##### Primer ciclo de sinterizado en el horno

##### Preparación del ciclo de sinterizado

Durante el proceso de preparación de la carga que se quiere sinterizar en el horno se recomienda el uso de gafas de seguridad.

Se colocan las piezas sobre la baldosa de alúmina en el interior del crisol (figura III-51). Se pueden someter al proceso tantas piezas como quepan en el crisol atendiendo a que no queden en contacto con las paredes del mismo ni entre ellas. Se colocarán junto con las placas que utilizaremos durante el segundo ciclo para infiltrarlo.

Cubrir la pieza con polvo de alúmina de grano grueso (36 grit) y emplazar el crisol en el interior del horno, centrado sobre los apoyos. La alúmina es un material refractario que ayudará a que la temperatura durante los procesos de calentamiento y enfriamiento sea lo más homogénea posible. El elevado tamaño de grano utilizado en este primer ciclo se debe a que entre las partículas se tiene que permitir la eliminación del aglomerante.





Figura III-51. Colocación de la pieza en el crisol.

El primer ciclo de sinterizado en el horno consta de tres etapas diferenciadas. El objetivo es obtener una pieza en "marrón" con aceptables características resistentes (se obtienen piezas con una dureza Rockwell B de aproximadamente 55 HRB).

#### 1. Combustión

Ocurre durante la rampa de calentamiento hasta 1025°C. El polímero aglutinante que fue sinterizado en la Sinterstation 2500 se consume ardiendo entre 450°C y 650°C.

#### 2. Sinterizado

El proceso de sinterizado ocurre a 1120°C y durante tres horas. A esta temperatura los granos de RapidSteel 2.0 se transforman por difusión al estado sólido, siempre por debajo del punto de fusión del material. Durante el sinterizado, la difusión atómica tiene lugar entre las superficies de contacto de las partículas a fin de que resulten químicamente unidas. A medida que el proceso continúa, las partículas grandes se forman a expensas de las más pequeñas. En tanto las partículas consiguen aumentar de tamaño con el tiempo de sinterizado, la porosidad de los conglomerados decrece.

#### 3. Enfriamiento

Una vez sinterizada la pieza, el grado de enfriamiento es de 180°C por hora. Si se realiza un enfriamiento más rápido, la bandeja de alúmina podría agrietarse. El resultado del proceso de sinterizado es la pieza en "marrón". Otra de las razones de un enfriamiento lento es

asegurar la reversibilidad del proceso, y así, evitar la acumulación de tensiones internas que pudieran provocar deformaciones no deseables en la pieza.

### Segundo ciclo de infiltración en el horno

#### Preparación del ciclo de infiltración

El proceso de preparación de la carga para el ciclo de infiltración es de gran importancia para la obtención de una pieza "totalmente compacta" en óptimas condiciones.

Se ha de pesar la pieza en marrón para determinar la proporción de bronce necesaria. El peso de la pieza en marrón determina la cantidad de bronce necesario para la infiltración. La proporción de bronce requerida es el 85% de la masa de la pieza en marrón, incluida la placa para la infiltración.

Se coloca la baldosa de alúmina en el centro del crisol. Para conseguir una pieza con exactitud dimensional tras la infiltración, el plato de alúmina debe ser plano (un máximo de 0.12 mm de desnivel) y con una rugosidad menor de 32 micras RMS. La función del plato de alúmina es asegurar un calentamiento y un enfriamiento lento. La capacidad refractaria de la alúmina permite la reversibilidad de los procesos térmicos en la superficie inferior de las piezas.

Se colocan placas a los lados de las piezas. La distribución de las placas ha de ser simétrica alrededor de la pieza. A continuación se colocan los cubos de bronce sobre las placas de infiltración. Hay que asegurarse de que el bronce no se desplace sobre las placas y que no está en contacto directo con la pieza, tal como se ve en la figura III-52.



Figura III-52. Colocación alumina y bronce.

Se rodea la totalidad de las piezas con polvo fino de alúmina (240 grit). La barrera de alúmina debe ser lo suficientemente alta para encerrar el bronce fundido.

Tras el primer ciclo de calentamiento en el horno, la pieza debe ser sometida a un segundo ciclo, ligeramente distinto al anterior, con el fin de infiltrar los poros existentes entre los granos. Durante este segundo ciclo de infiltración, unos cubos de bronce extruído se funden y penetran en los huecos de la pieza por capilaridad. El resultado es una pieza "totalmente compacta" de dureza 86 HRB. Este ciclo se divide en dos etapas:

#### 1. Infiltración de bronce

En esta etapa, la pieza en "marrón", porosa, es infiltrada con bronce para dar lugar a la pieza totalmente compacta. El horno se mantiene durante dos horas a 1050°C para permitir la fusión de los cubos de bronce.

En la figura III-53 se observa el crisol con pieza dentro del horno.

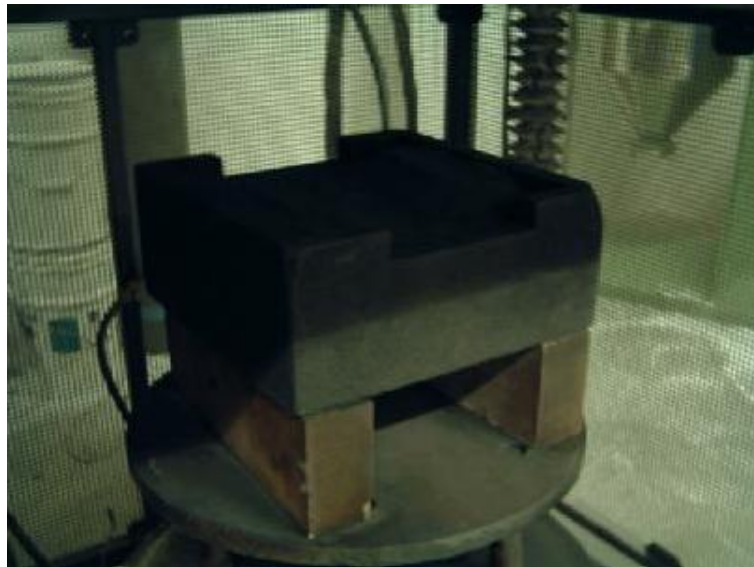


Figura III-53. Crisol en el horno.

#### 2. Enfriamiento

Después de que la pieza sea infiltrada con bronce, el grado de enfriamiento es de 180°C por hora. El resultado del proceso de infiltración es la pieza "totalmente compacta".

#### Proceso par el Laserform ST-100.

Con este material el proceso de fabricación es el mismo que en Rapidsteel, pero se han unido en un solo ciclo los pasos que se realizan en dos ciclos de horno citados anteriormente.

### 5.3. FABRICACIÓN MOLDE-PROTOTIPO PARA INYECCIÓN

Se hace un análisis detallado del proceso de fabricación de moldes-prototipo para inyección, teniendo en cuenta la relación de las características específicas del proceso de obtención del prototipo con los requisitos de los moldes [44-45]. Y de este estudio detallado se obtendrá un procedimiento de trabajo que nos indica las variables que hay que ajustar dependiendo de la pieza que se desea fabricar. También en paralelo se obtendrán las limitaciones y ventajas de la técnica.

Por lo tanto, en esta tesis, además de los factores propios del proceso de fabricación de prototipos ya enunciados en apartados anteriores, se consideran otros factores necesarios para el proceso de inyección, y estos son:

- 1.- Estandarización de la base portadora del molde sinterizado para su inclusión en la inyectora.
- 2.- Diseño del "molde-prototipo".
- 3.- Proceso de fabricación del "inserto" por tecnología de prototipado rápido.
  - Optimización de los procesos de acabado de los moldes obtenidos.
- 4.- Tratamiento de las piezas.
  - Mejora del proceso de infiltración y optimización de la velocidad de infiltración de acuerdo con el tipo de metal empleado.
  - Investigación sobre los ambientes gaseosos con el objetivo de obtener piezas con menor índice de oxidación.
  - Optimización del tiempo de permanencia de la pieza en el horno.
- 5.- Manipulación posterior.
- 6.- Validación de los moldes obtenidos.
  - Verificación de la durabilidad de los moldes.
- 7.- Inyección de diferentes materiales con los moldes obtenidos.

A continuación detallamos como se desarrollará el estudio de cada característica:

#### 5.3.1. ESTANDARIZACIÓN DE LA BASE PORTADORA DEL MOLDE SINTERIZADO PARA SU INCLUSIÓN EN LA MÁQUINA DE INYECCIÓN.

El desarrollo de esta etapa incluirá las siguientes tareas:

*- Diseño de una placa portamoldes.*

Las piezas que se obtendrán serán insertos metálicos, los cuales se adaptarán a una placa portamoldes y a un molde base para poderse inyectar posteriormente. Para optimizar todo este proceso es necesario reducir al máximo el número de variables incontroladas por los usuarios del sistema, por lo que es indispensable diseñar unos portamoldes y un molde base standard, es decir con una serie de características concretas (punto de inyección, ángulos de acople en los portamoldes, sistema de refrigeración, dimensiones...) que se adecuen a las máquinas de inyección convencionales para poder inyectar posteriormente. Una vez diseñadas estas piezas estándar se fabricarán los insertos metálicos siempre con esas características externas para acoplarlos al portamoldes estándar desarrollado, sea cual sea el inserto a obtener.

El objetivo, por tanto, de esta fase es obtener varios modelos de portamoldes standard (con distintas dimensiones y características técnicas) de forma que todos los insertos a desarrollar posteriormente se ajusten de forma específica a estos portamoldes standard.

*- Obtención de las placas portamoldes.*

Una vez ha sido diseñado el dispositivo portamoldes, se procederá a la fabricación del mismo mediante el sistema de mecanizado a alta velocidad.

### 5.3.2. DISEÑO DEL MOLDE-PROTOTIPO

Sobre el diseño 3D de un prototipo se debe intentar obtener el diseño del molde (inserto) prototipo que acoplaremos a nuestro sistema [46].

Hay que tener presente que no sirven las características generales del planteamiento de un molde convencional, hay que adecuarlo a su uso como molde prototipo, pues va a ser fabricado por otra tecnología, que no es la habitual en la fabricación de moldes y por tanto el diseño será diferente.

Varios son los parámetros claves a tener en cuenta en este apartado:

- Parámetros generales de cualquier inserto: planos de partición, puntos de inyección, expulsores, factor de contracción del material a inyectar, sistema de enfriamiento,...
- Parámetros específicos en el sinterizado láser: contracciones en pasantes y pivotes con escalados particulares, redimensionamiento de zonas para mejora de ajustes y escalado general específico del material de sinterizado.

Por lo tanto, en este apartado se evaluarán y caracterizarán los distintos parámetros comentados anteriormente para su optimización.

### 5.3.3. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL “INSERTO” POR TECNOLOGÍA DE PROTOTIPADO RÁPIDO

Para obtener la pieza prototipo, cuya función en este caso es un inserto de molde, así hay que tener presentes las propiedades que debe adquirir para obtener esa funcionalidad. En el presente trabajo se estudiarán los requisitos del molde de inyección para ver si se pueden obtener o cumplir fabricándolo directamente por las tecnologías de prototipado.

Las variables que se controlarán en el proceso de obtención de los insertos son las siguientes:

- *Optimización de los procesos de acabado de los moldes obtenidos.*

Durante las pruebas previas realizadas para obtener moldes prototipo por diferentes técnicas y los antecedentes comentados previamente, se comprobó que es prácticamente imposible inyectar (pasar al ciclo de producción) directamente sobre dichos moldes, debido a la rugosidad obtenida en el proceso de fabricación y también por los materiales utilizados en las técnicas de prototipado. Por ello, es necesario realizar acabados superficiales sobre los insertos metálicos y/o moldes para que puedan ser útiles.

Actualmente el acabado de los moldes se realiza por pulido manual, así es una etapa lenta y que se debe intentar mejorar. Por tanto, se intentará investigar de qué manera se puede reducir esta etapa, siendo una de ellas intentar conseguir el acabado superficial lo menos rugoso posible. Se estudiarán las variables que afectan al acabado de la pieza y por tanto a la rugosidad, y se evaluarán otras alternativas que permitan mejorar el procedimiento de sinterizado e infiltración.

### 5.3.4. TRATAMIENTO DE LAS PIEZAS

La pieza obtenida del proceso de fabricación de prototipo es muy frágil, y por ello se la conoce como pieza en “verde”. La manipulación de esta pieza es muy delicada, por lo que en esta fase se investigará para buscar nuevas técnicas que hagan más resistente la pieza en “verde”. A su vez el tratamiento posterior de estas piezas también es muy delicado, pues tienen que someterse a un proceso de infiltración de otros materiales en un horno con objeto de aumentar su dureza.

La investigación irá encaminada al desarrollo de diferentes metodologías de trabajo que permitan su manejabilidad e infiltración en el horno sin alterar sus propiedades ni dimensiones.

A continuación se exponen las características que serán objeto de estudio y como se desarrollará en la presente investigación.

#### 5.3.4.1. Mejora del proceso de infiltración y optimización de la velocidad de infiltración de acuerdo con el tipo de metal empleado

Para ello, en primer lugar se realizará una búsqueda de investigaciones efectuadas con otros metales de infiltración adecuada y económica con los que se obtenga mayor grado de infiltración en el molde y disminución de alabeo de las piezas.

Tal y como se ha explicado anteriormente, el material empleado consiste en acero en polvo con un aglutinante y otros compuestos estabilizantes a la temperatura de fundición. Cuando la pieza se introduce en el horno tras la fase de sinterizado, se alcanzan altas temperaturas (cercanas a los 1150 °C) de forma que el aglutinante soldado mediante el láser de sinterizado, cambia de estado y se vaporiza, dejando en la estructura del inserto metálico huecos que deben ser rellenados por algún metal mediante infiltración (de esa forma adquiere más resistencia física frente a los procesos de inyección).

En general se usa el bronce como elemento de infiltración debido a sus características de estabilidad térmica y temperatura de fundición. Pero también se efectuará una investigación sobre la búsqueda de otros materiales equivalentes al bronce en cuanto a características térmicas y que, al mismo tiempo, económicamente sean más baratos o más rentables, alcanzando mayor grado de infiltración y disminución de alabeo de las piezas. Sin embargo existen otros metales como el cobre que podrían ser válidos.

En consecuencia, las tareas a desarrollar sobre los procesos de infiltración serían:

- Búsqueda de metales con características térmicas similares al bronce
- Fabricación de muestras / probetas
- Infiltración con distintos metales, optimización de los parámetros del horno: temperaturas, tiempo, velocidad de calentamiento, etc.
- Evaluación de los resultados obtenidos mediante pruebas de resistencia mecánica, aspecto visual, grado de infiltración...

#### 5.3.4.2. Investigación sobre los ambientes gaseosos con el objetivo de obtener piezas con un menor índice de oxidación

Con esta etapa de la investigación, se pretende estudiar la posibilidad de utilización de distintas atmósferas durante el ciclo de horno para obtener mayor grado de infiltración y un menor nivel de oxidación de las piezas.

De la misma forma, en el proceso de horno es necesario disponer de un ambiente inerte para que puedan darse las condiciones de fundido e infiltrado evitando la oxidación de las piezas, por eso sería interesante estudiar otros ambientes de inertización con la inclusión, por ejemplo, del Hidrogeno en el ciclo de sinterizado del Laserform, así como bajo distintos niveles de presión, optimizando la calidad de las piezas y mejorar el porcentaje (o grado) de infiltración así como disminuir al máximo el nivel de oxidación de las piezas desarrolladas.

Así se realizarán las siguientes experiencias:

- Selección de distintas atmósferas gaseosas inertes.
- Fabricación de muestras/probeta.
- Ciclo de horno para infiltración empleando distintas atmósferas gaseosas: Nitrógeno, Hidrógeno, y mezcla de éstos variando su proporción en ella.
- Evaluación de los resultados obtenidos mediante ensayos de resistencia mecánica, aspecto visual y oxidación de las piezas.

#### 5.3.4.3. Optimización del tiempo de permanencia de la pieza en el horno

En esta tarea, se tiene como objetivo optimizar el tiempo de estancia en el horno durante el proceso de infiltración en función del tamaño de pieza, con objeto de reducir el tiempo de obtención de un molde.

Existe una rampa modelo estándar, en la segunda fase de sinterizado, que provoca que la duración de este proceso se encuentre fijada a 22 h. Sin embargo, este tiempo se podría variar en función del tamaño de la pieza a infiltrar ya que en piezas pequeñas puede que se alcance de forma rápida un alto grado de infiltración. Así se podrían reducir en varias horas la obtención del prototipo sin influir para ello en su calidad, y/o propiedades físicas (incluso se podrían mejorar).

De esta forma, también se podría optimizar económicamente el proceso de sinterizado, lo que repercutiría finalmente en un abaratamiento de los costes de desarrollo y obtención de los moldes.

La zona de modificación podría encontrarse en la fase de infiltración, ya que dependiendo del tamaño de la pieza será necesario o no el empleo de más tiempo para conseguir una óptima infiltración. Para piezas pequeñas el tiempo de infiltración siempre será menor que en piezas de mayor tamaño.

Para evaluar esta variable se realizaran las siguientes experiencias:

- Diseño de dos tipos de moldes: uno grande y uno pequeño.
- Sinterizado de 5 moldes grandes y 5 pequeños, y sinterizado a la vez de probetas normalizadas variando el tiempo de infiltración en el horno: 18, 20, 22, 24 y 30 h, para conseguir distintos grados de infiltración en las piezas. Al mismo tiempo se sinterizarán probetas normalizadas con distintos grados de infiltración.
- Ensayos para evaluar la dureza y la resistencia mecánica de las probetas obtenidas en función del grado de infiltración. En función de los resultados, selección de los tiempos de horno más adecuados, es decir que proporcionen un adecuado grado de infiltración para obtener buenos resultados de dureza y resistencia mecánica con los moldes prototipos obtenidos.
- Medidas dimensionales de los 10 moldes obtenidos con distinto grado de infiltración.

#### 5.3.5. MANIPULACIÓN POSTERIOR

Una de las principales limitaciones de las tecnologías de fabricación de prototipos es el acabado superficial. Es muy rugoso y no permite inyectar directamente con la pieza obtenida.

Se pretenden estudiar técnicas como el recubrimiento metálico, el chorreado con "corindón y fibra de vidrio". Frente a la alternativa actual del pulido manual (un aspecto importante que se ha considerado a la hora de pulir es la exactitud dimensional tras el acabado). Directamente de máquina se consigue obtener un error de 2 a 4 décimas. En un pulido manual no se puede controlar tanta precisión, por lo tanto, la exactitud dimensional nunca podrá disminuir de ese error de 2 a 4 décimas.



### 5.3.6. VALIDACIÓN DE LOS MOLDES OBTENIDOS

El objetivo general de las actividades a desarrollar en esta etapa es la validación de los moldes obtenidos con distinto grado de infiltración durante el proceso de inyección. La validación incluye la comprobación de la durabilidad de los moldes y validez de las piezas inyectadas con distintos plásticos.

- *Verificación de la durabilidad de los moldes.*

Una vez obtenidos los moldes prototipo con distinto grado de infiltración, es interesante estudiar la resistencia del molde durante el proceso de inyección en función de variables como material inyectado, número de piezas en la serie, calidad de la infiltración (en el proceso del horno), necesidad o no de infiltración en función del número de piezas a obtener, en caso de series cortas (con lo cual se reduciría el coste del desarrollo del molde).

De la misma forma, es interesante controlar la calidad superficial necesaria para la inyección sobre el molde de distintos materiales (en función a las características de agarre del material con el cual se va a inyectar).

Otro aspecto a considerar es el grado de pulido necesario a aplicar en un molde en función del material final de inyección ya que esto repercutirá directamente en el tiempo de desarrollo del producto (más o menos tiempo dedicado al acabado / pulido del molde) y que influirá económicamente (por la mano de obra destinada ese tiempo).

En función de los resultados obtenidos y empleando para ello los parámetros optimizados, tanto del molde como del material a inyectar, se observará la durabilidad de los moldes en series largas y cortas.

El método desarrollado para realizar esta tarea es:

- Acabado o pulido superficial de los moldes mediante la técnica anteriormente seleccionada.
- Obtención de las medidas dimensionales de los moldes tras el pulido.
- Acople de los moldes obtenidos con distinto grado de infiltración a las placas portamoldes y al molde base. Pruebas de inyección con distintos materiales plásticos.
- Validación de la duración de los moldes y las piezas obtenidas (calidad superficial, etc.), en función del grado de infiltración y del material plástico inyectado.
- Selección de los tiempos de horno más adecuados, es decir que proporcionen un adecuado grado de infiltración para obtener buenos resultados de inyección con los moldes prototipos obtenidos. Comparación de estos tiempos anteriormente seleccionados.

### 5.3.7. OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE INYECCIÓN PARA DIFERENTES MATERIALES

El objetivo de esta tarea es el de desarrollar fichas técnicas para cada material de inyección y cada molde sinterizado con información sobre parámetros de inyección más adecuados, datos de

desarrollo en sinterizado, calidad mínima de pulido, etc. La información sobre estos parámetros nos permitirá obtener piezas finales de calidad similar a los procesos desarrollados a través de moldes tradicionales [47-49].

En este proceso, por lo tanto, se realizarán pruebas de inyección de distintos moldes con la finalidad de buscar esos parámetros óptimos (temperatura de inyección, presión de inyección, tiempos de inyección y refrigeración,...)

Este proceso se repetirá para distintos materiales plásticos, con el fin de obtener una parametrización de los materiales plásticos más genéricos: ABS, PP, PC,...

Finalmente, se comprobará la calidad de los productos obtenidos a partir de la inyección de diferentes materiales plásticos con los moldes anteriormente obtenidos.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo iremos describiendo la metodología utilizada para resolver cada apartado de los objetivos propuestos en esta Tesis, así está compuesto por varios subapartados que exponen el método utilizado para resolver cada uno, y también veremos como se van resolviendo secuencialmente.

En primer lugar hemos realizado un estudio sobre cómo se lleva a cabo el “desarrollo de nuevos artículos” en el sector del juguete, sobre cual es su situación técnica, sus necesidades y su capacidad para incorporar nuevas tecnologías, y en este caso las tecnologías de “Prototipado Rápido”.

Después describimos las técnicas existentes en el mercado, y hacemos una valoración objetiva sobre las ventajas, inconvenientes y utilidades para resolver las necesidades en el desarrollo de nuevos juguetes. Paralelamente aclaramos conceptos y definiciones que presentan ciertas confusiones para los usuarios.

Así, una vez expuestas las necesidades del sector y las tecnologías de prototipado existentes con sus características, podremos seleccionar la más apropiada.

Posteriormente explicamos cómo se ha utilizado la tecnología seleccionada, los parámetros críticos y su posterior aplicación en la fabricación de juguetes.

Considerando los objetivos planteados se agrupan los resultados en dos grupos, los obtenidos de la investigación de datos teóricos, a partir de la bibliografía y la vigilancia tecnológica del mercado, y los resultados experimentales, a partir de las experiencias realizadas en el desarrollo de la presente investigación.

Los resultados se exponen secuencialmente tal como se han obtenido, ya que a partir de unos han derivado los siguientes.

### 1. TECNOLOGÍA SELECCIONADA

En el capítulo II hemos expuesto las fases que se utilizan para el desarrollo de un nuevo producto y como se desarrollan éstas en el sector del juguete. Así, a partir de estos datos se deduce cual es la “metodología” más apropiada para iniciar la fabricación de un juguete, y en qué procesos pueden aplicarse las nuevas tecnologías de fabricación de prototipos. De esta información se obtiene que tipos de prototipos son necesarios para la fabricación de juguetes y las características de éstos.

Por otro lado, relacionando los datos y procesos que intervienen en la fabricación de juguetes se comprueba qué tipos de prototipos son necesarios, y son tanto los estéticos como los funcionales, así como los moldes-prototipos para la fabricación de series cortas.

El prototipo funcional es útil para la fase de homologación del producto, para la evaluación de su funcionamiento.

El prototipo estético es necesario para la industria del juguete porque hay que hacer estudios de mercado, hay que presentar el artículo en ferias, también cada vez con más frecuencia se presenta el artículo a los usuarios, por lo tanto hay que tenerlo terminado estéticamente para comprobar su adaptación al mercado, verificar si gusta tal como se ha terminado o hay que modificarlo.

Por otro lado, una vez aceptado el diseño del artículo hay que definir el proceso de fabricación más apropiado y rentable, y cuando el número de piezas a fabricar sea bajo, es muy útil el molde-prototipo, ya que evita realizar grandes inversiones en matricería que difícilmente se amortizaría con una serie corta.

En la figura IV-1 se muestra un esquema general de desarrollo de producto, donde se exponen la fases en las que intervienen los prototipos en la fabricación de juguetes.



Figura IV-1. Resumen metodología desarrollo de un juguete

Para la obtención de prototipos, hay que utilizar tecnología y materiales diferentes según su función, así para obtener la pieza estética es suficiente con un material que adquiera buenos acabados superficiales y no importa la resistencia, pero por el contrario, para la evaluación de la funcionalidad o para realizar ensayos de homologación del producto es necesario tener un material con buena resistencia y lo más parecido posible al material definitivo. Y cuando se desea tener la pieza en material definitivo, entonces se utiliza el molde-prototipo.

En la figura IV-2 se muestra cómo es el proceso general para la fabricación de prototipos de acuerdo a la incorporación de nuevas tecnologías.

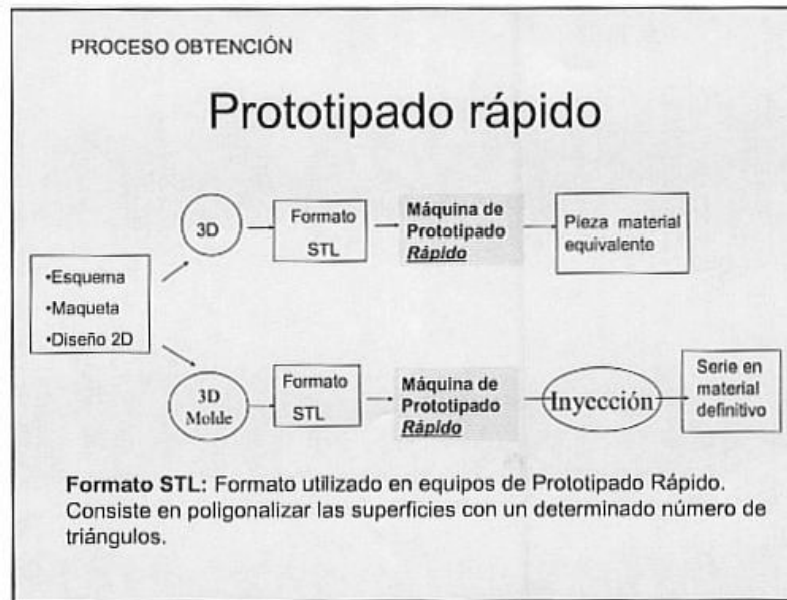


Figura IV-2. Proceso general de fabricación de prototipos

En el capítulo I se han enunciado las técnicas para fabricación de prototipos. También se han clasificado atendiendo a las características de cómo se desea obtener el producto o las propiedades del prototipo obtenido, y se ha visto en el capítulo II que se pueden clasificar y definir de diferentes maneras.

En esta tesis nos hemos centrado en la clasificación más general, dado que para fabricar un juguete son necesarios varios tipos de prototipos. Considerando el procedimiento para la fabricación de juguetes utilizando las nuevas tecnologías que hemos resumido en las figuras IV-1 y IV-2, deducimos que hay que estudiar por separado las tecnologías de prototipado que permiten obtener una pieza y las que permiten obtener series a partir de moldes-prototipo.

Por otra parte, hemos analizado las características de los moldes-prototipos y de los prototipos en general, y llegamos a concluir que se necesita una técnica que cubra las siguientes premisas:

- Ø Creación del número máximo de prototipos y en el menor tiempo posible.
- Ø Creación de los prototipos con el material real de producción para la realización de ensayos.
- Ø Posibilidad de estudio y ensayo del molde-prototipo.

A continuación en las tablas IV-1 y IV-2 se resumen en un cuadro las tecnologías existentes en el mercado que en teoría permiten obtener los prototipos deseados.

### Técnicas de prototipado rápido

Tecnología	Fundamento	Material	Tratamiento
Esterеоolitografía	Fotopolimerización	Resinas Fotosensibles	Endurecimiento acabado
FDM	Fusión	ABS	Acabado
Sinterizado selectivo por SLS	Fusión con láser	Poliamida Poliamida + Fibra de vidrio Acero Cobre-Poliamida Poliestireno Resina poliéster	No necesita
BPM	Proyección polímero caliente	Polímero atóxico	No necesita
Inkjet Printing	Similar a impresoras de chorro de tinta	Termoplástico similar a cera	No necesita
Multi-Jet Modeling (MJM)	Similar a impresoras de chorro de tinta (96 toberas)	Cera	Eliminar estructuras
3D Printing	Aglutinación	Almidón Yeso	No necesita
LOM	Pegado y corte con láser	Papel Plástico	Acabado

Tabla IV-1. Técnicas de fabricación primer prototipo

### Técnicas de Prototipado rápido Moldes

Tecnología	Objetivo	Fundamento	Material Pieza Final	Material Molde	Tratamiento
Esterеоolitografía-Direct AIM	Serie Corta	Fotopolimerización	Termoplásticos	-Carcasa en resina fotopolimerizable rellena con resina epoxi y metal	Pulido
Esterеоolitografía-KeiTool	Serie Larga	Sinterizado Térmico	Termoplásticos	Acero infiltrado con bronce	Mecanizado y Pulido
SLS-Cobre-Poliamida	Serie Corta	Fusión por Láser	Termoplástico	Poliamida con carga de cobre metal	Pulido
SLS-Acero	Serie Larga	Fusión por Láser, posterior sinterizado térmico e infiltración con bronce	Termoplástico	Acero infiltrado con bronce	Mecanizado y Pulido
SLS-DMLS (EOS)	Serie Larga	Sinterizado directo por láser	Termoplásticos	Acero	Mecanizado y Pulido
Colado en Vacío	Serie Corta	Colado de resinas en moldes de silicona al vacío	Resinas	Silicona	Acabado manual

Tabla IV-2. Técnicas fabricación moldes de prototipos

Podemos observar en las tablas IV- 1 y IV-2 las características de cada técnica, y a partir de ellas seleccionamos las que más variedad de materiales permiten utilizar y de más fácil manipulación posterior, y así se deduce que la tecnologías basadas en el "Sinterizado Selectivo por Laser" son las más adecuadas para el sector del juguete, ya que permiten obtener "Prototipos funcionales y estéticos" así como "Moldes-prototipo", pues el poder utilizar material plástico y metálico con la misma maquinaria es una ventaja, ya que utilizamos el mismo equipo, software y parte de los conocimientos del manejo de la tecnología.

Otro factor que nos ha llevado a seleccionar esta técnica es que, según la información teórica, permite fabricar los prototipos sin tratamiento posterior, con lo que consideramos que se acorta el proceso de fabricación. Está claro que la técnica nos permite obtener directamente una pieza a partir el diseño en 3D, el proceso es bastante rápido, y si además se obtiene en un material resistente que permite hacer pruebas y manipulaciones, tales como anclajes, y ensayos de homologación, ello supone ya un adelanto sobre las técnicas habituales.

Posteriormente nos centramos en los parámetros críticos del proceso seleccionado, el de "Sinterizado", y de ellos los que afectan a las características del producto final, que hemos resumido en la tabla IV-3.

CARACTERÍSTICAS PROCESO	CARACTERÍSTICAS PRODUCTO FINAL
ESPESOR DE CAPA	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Tiempo de sinterizado</li> <li>● Definición de los detalles</li> <li>● Homogeneidad en la pieza</li> </ul>
POTENCIA LÁSER	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Exactitud en dimensiones</li> <li>● Resistencia</li> </ul>
TEMPERATURA DE TRABAJO	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Resistencia del material</li> <li>● Acabado</li> </ul>

Tabla IV-3. Parámetros críticos proceso Sinterizado

Considerando las características del producto final, como son la resistencia de la pieza, acabado superficial, detalles y tiempo de fabricación, se estudian las técnicas de Sinterizado existentes en el mercado, que son las fabricadas por dos casas comerciales, y así se selecciona una de ellas, la mas versátil y que permita obtener piezas de mejor calidad. Para esto se evalúan las características que presentan y los requisitos que se necesitan para obtener los prototipos en juguetes.

A continuación comparamos las características de las dos tecnologías, en las figuras IV-3 y IV-4 se resumen las características de cada fabricante.



### TECNOLOGÍAS BASADAS EN SINTERIZADO

• **EOS (95)**: Sinterización directa del material por láser.

Materiales:

- Arena (**otra máquina**)
- Acero (**otra máquina**)
- Termoplásticos (**otra máquina**)

• **DTM (93)**: Sinterización de aglutinante polimérico y sinterización térmica en horno para el acero

Materiales:

- Termoplásticos Arena.
- Cobre-Poliamida.
- Somos ,tipo elastómero.
- Acero (**necesita horno posterior**).

### CARACTERÍSTICAS DE LAS MAQUINAS EXISTENTES

• **Aportación de material:**

EOS: Tolva + Cuchillas.

DTM: Rodillos (no altera la capa)

• **Espesor capa mínimo:**

EOS: 0.1mm teórico / práctico 0.15 mm.

DTM: 0.05 mm teórico / práctico (0.08 – 0.1)mm.

• **Sistema de localización del Láser diferentes.**

• **Maquinaria exclusiva para cada material en EOS**

Figuras IV-3 y IV-4. Características procesos Sinterizado comerciales

A partir de las características de cada tipo de máquina y los parámetros críticos que afectan al proceso de sinterizado se escoge la técnica de DTM, pues consideramos que es más útil por varios motivos:

- a) Porque permite en una misma máquina fabricar distintos tipos de productos, como son los prototipos y los moldes-prototipo, esto es debido a que se puede cambiar el material.
- b) El proceso de fabricación que utiliza DTM, depositando el material con un rodillo, en principio indica que el acabado de las piezas y los espesores de capa están mejor controlados, tal como indican en la información comercial.

## 2. FABRICACIÓN DE PROTOTIPOS

Las experiencias realizadas para fabricación de prototipos han sido muy amplias y en general con resultados satisfactorios.

Clasificamos estos resultados en dos apartados, que son los prototipos en plástico y en metal, ya que cada material requiere una metodología de transformación.

### 2.1. PROTOTIPOS PLÁSTICOS

Para acortar los procesos de desarrollo de producto, una aplicación muy utilizada actualmente es la realización de los prototipos en material plástico. Este proceso es un adelanto enorme frente a procesos tradicionales, que consistían en realizar maquetas de forma manual, con los problemas de tiempo y coste que ello conlleva, o en la realización del molde metálico directamente con el importante riesgo que ello conlleva debido al alto coste del molde y los futuros posibles problemas de modificación del mismo si se requiriese un cambio en la pieza.

Los diseños de las piezas, ya en formato STL, fueron suministrados por parte de DTM en su software del equipo y el resto fue dibujado mediante el software de CAD 3D I-DEAS, disponible en AIJU, y fueron exportados al formato STL con una tolerancia de 0.01 mm.

En las siguientes figuras se pueden observar fotografías de los prototipos realizados.

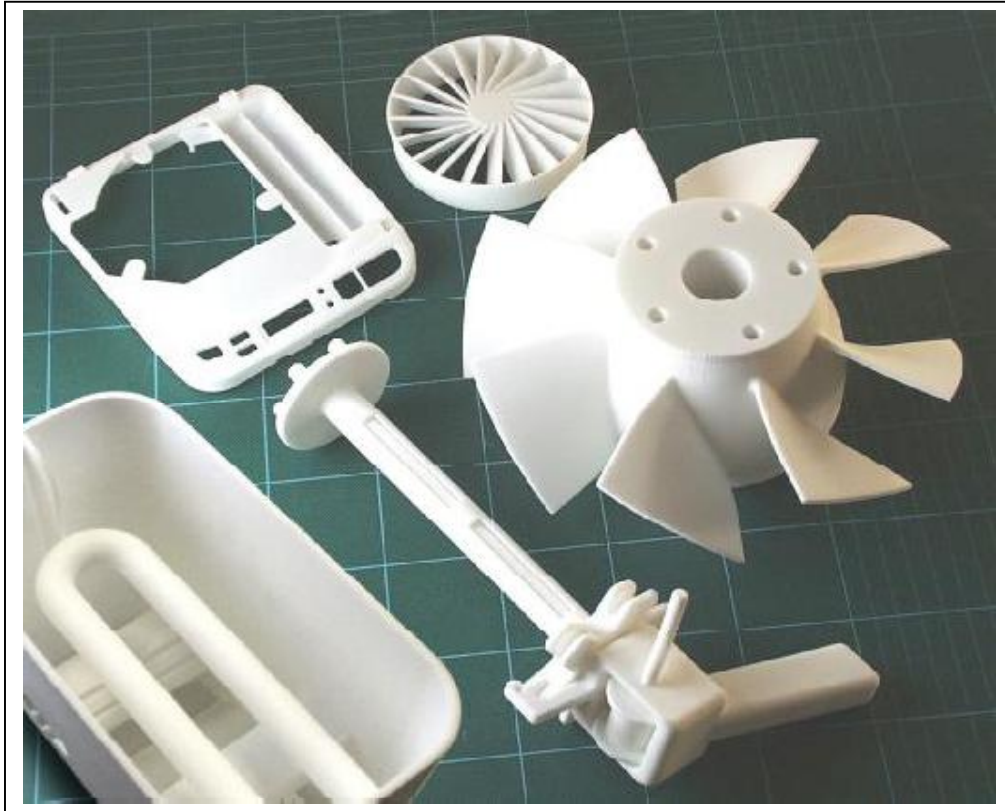


Figura IV-5. Piezas sinterizadas en poliamida

El proceso de obtención de este tipo de prototipos es análogo al de la obtención de prototipos y moldes metálicos. Las diferencias consisten en la resistencia mecánica de los prototipos que salen de máquina, los de metal necesitan un proceso posterior de infiltración. En realidad las piezas en plástico ya poseen el comportamiento mecánico funcional necesario, y esto lo comprobamos visualmente y al manipularlo. El polvo no sinterizado hace de soporte de las piezas y por tanto no es necesario eliminar soportes por lo que no se necesitan tratamientos posteriores salvo la eliminación del polvo no sinterizado que lo hacemos con un pincel o cepillo.

Las variables que hemos evaluado han sido:

- Precisión de las piezas obtenidas.
- Tamaño máximo y mínimo del prototipo a sinterizar.
- Acabado superficial.
- Utilidades del prototipo obtenido.

Las piezas sinterizadas se miden con pie de rey y tienen una exactitud dimensional entorno a 0,2 y 0,5 mm, que dependiendo del tamaño de la pieza cambiará, y también según sea la geometría de la pieza podemos escoger unas cotas con más precisión que otras.

En cuanto a las dimensiones de la pieza que se puede llegar a fabricar, en general no hay limitación, pues hemos realizado varias experiencias uniendo piezas de prototipo y, aunque sí se visualiza la unión, ésta no afecta a la resistencia del producto y por tanto se sigue fabricando un prototipo funcional.

Además de ello, es posible utilizar estos prototipos como masters para colada al vacío en moldes de silicona. De esta forma se pueden obtener series en resinas del prototipo sinterizado. Todas estas posibilidades dan una gran cantidad de soluciones versátiles en todas las fases de Ingeniería de Desarrollo.

También los prototipos fabricados en poliamida los hemos podido tratar posteriormente y presentan acabados estéticos de buena aceptación como son el color, el metalizado, etc., algunos ejemplos se ven en la figura IV-6.

Así, esta técnica es muy útil para fabricar prototipos funcionales y las limitaciones están en el espesor de paredes y resolución de algunas figuras con detalles muy pequeños (dimensiones de menos de 0.7 mm), pero para el sector del juguete es totalmente útil.



Figura IV-6. Ejemplos de piezas sinterizadas y tratadas posteriormente.

## 2.2. PROTOTIPOS METÁLICOS

Hemos realizado mediante sinterizado selectivo por láser (SLS) distintos prototipos metálicos con el fin de validar la utilización de esta tecnología para este tipo de piezas. A continuación presentamos un resumen de los resultados.

Los diseños de las piezas, ya en formato STL, fueron suministrados por parte de DTM en su software del equipo y el resto fue dibujado mediante el software de CAD 3D I-DEAS, disponible en AIJU, y fueron exportados al formato STL con una tolerancia de 0.01 mm.

Los prototipos realizados representan figuras y geometrías variadas con objeto de comprobar las limitaciones de la técnica.

En la siguiente figura se puede observar una captura de pantalla de uno de los diseños, así como también las zonas donde el prototipo se rompió en la fase de limpieza. Los detalles serán explicados más adelante.

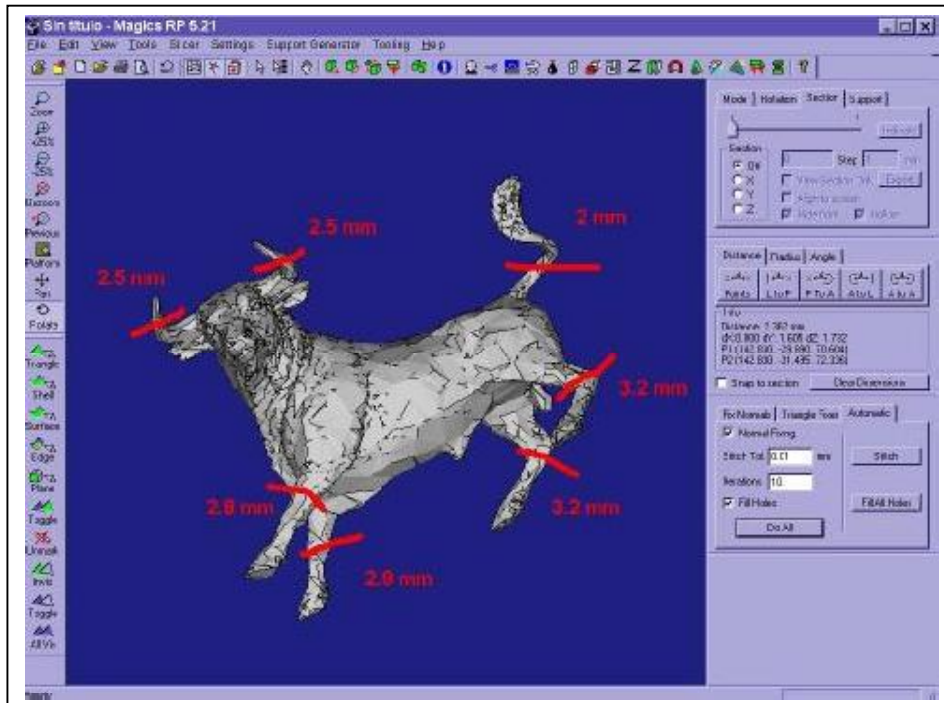


Figura IV-7. Diseño de un prototipo facilitado por DTM

También podemos observar una captura de pantalla del diseño de otra pieza realizada.

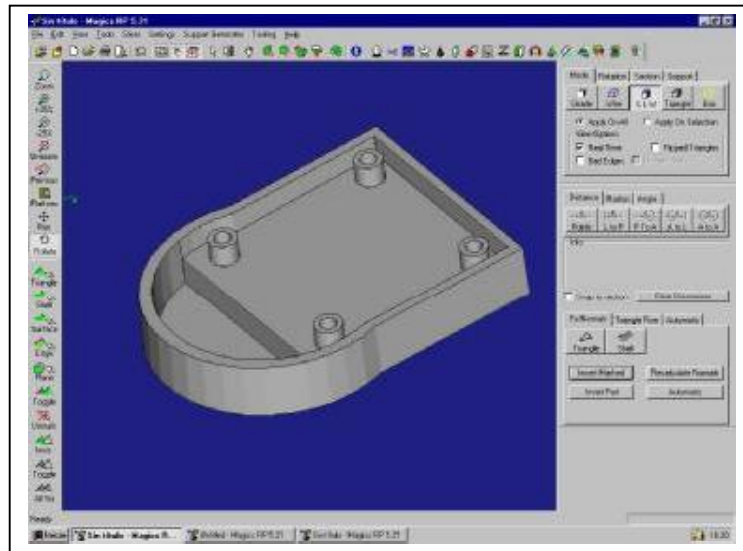


Figura IV-8. Diseño de pieza

El proceso de construcción es análogo al de realización para los moldes. La principal dificultad de esta aplicación es el manejo, la extracción de la máquina de sinterizado y la limpieza de las piezas debido a la fragilidad de las mismas. Otro gran problema es controlar que las piezas no se muevan al pasar el rodillo cuando deposita una nueva capa de material. Al ser piezas complejas, las superficies escaneadas son pequeñas y por tanto susceptibles de ser arrastradas. Como alternativas incluimos la generación de soportes para aumentar la superficie de escaneo así como para facilitar el proceso de extracción.

En las siguientes figuras se pueden ver el prototipo del toro tras el proceso completo (en él se ven las roturas anteriormente indicadas), así como un prototipo en el que se aprecia una de las piezas con la alúmina gruesa, ya preparada para ser introducida en el horno, y otra rota durante el proceso de extracción de la máquina de sinterizado (Figuras IV-9 y IV-10).



Figura IV-9. Pieza en verde con alúmina y pieza rota



Figura IV-10. Pieza de sinterizado metálico defectuosa

En las siguientes figuras se pueden ver fotografías de distintos prototipos metálicos realizados.

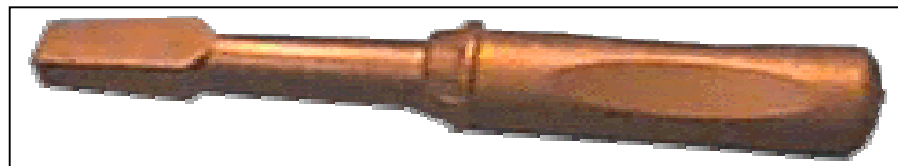
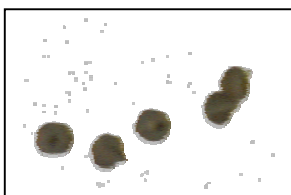
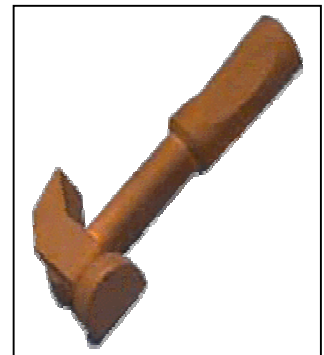


Figura IV-11. Prototipos metálicos

La exactitud dimensional de los prototipos medida con pie de rey oscila entre 0.2 y 0.5 mm lo que provoca que aquellos prototipos que han de ser montados y forman parte de un mecanismo hayan de ser rectificadas.

No obstante el principal problema, como se ha comentado antes, es la fragilidad de las piezas. Geometrías medianamente complicadas son muy difíciles de manejar sin comprometer a las propias piezas. Tabiques finos y cilindros conforme van aumentando su altura se convierten en elementos que fácilmente romperán, por lo que imposibilitan la construcción del prototipo. La alternativa que proponemos es construirlos con una gran cantidad de soportes, pero la necesidad posterior de eliminarlos nos lleva de nuevo a máquinas herramientas de eliminación de material, por lo que eliminan la rentabilidad del proceso.

Así, en la fabricación de prototipos metálicos hay ciertas limitaciones y dependiendo de la complejidad de la figura habrá que valorar el uso o no de esta técnica para cada caso.

### 2.3. LIMITACIONES Y UTILIDADES DE LA TECNOLOGIA PARA LA FABRICACIÓN DE PROTOTIPOS

Para el tratamiento de estos resultados ya se diferencia entre los tres grupos de prototipos definidos en el capítulo III, prototipos de plástico, metal y moldes-prototipo.

Para la fabricación de prototipos el método es una adaptación de las características del manual de operaciones de la maquinaria a las necesidades de los artículos a fabricar (en este caso juguetes), y de éstas analizamos qué variables intervienen y cuáles interesa controlar para la fabricación del prototipo de un juguete.

Así, comprobamos que el proceso de fabricación de "prototipos de plástico" definido en la teoría, si que es adecuado para la obtención de éstos de acuerdo a los requisitos de los juguetes. A la vez que hemos validado el proceso también obtenemos las limitaciones, ventajas y las variables experimentales óptimas para la obtención de prototipos de plástico.

Para la fabricación de prototipos metálicos, se requieren otros procedimientos y además el uso de otras tecnologías complementarias, como es el caso de los moldes-prototipo. Así, tras estas experiencias, vemos que hay que considerar todas las variables en su conjunto al inicio del proceso de desarrollo del artículo, esto es en la fase inicial del diseño de la pieza, para así poder adecuar éste a las necesidades finales de la pieza y teniendo en cuenta todos los requerimientos de las etapas intermedias.



### 3. FABRICACIÓN DE MOLDES-PROTOTIPO PARA DIFERENTES PROCESOS DE FABRICACIÓN DE JUGUETES

Se han realizado diferentes moldes para así comprobar la viabilidad de este sistema de fabricación en los distintos procesos que intervienen en la fabricación de juguetes y que a continuación enunciamos:

- SOPLADO
- INYECCION DE ZAMAK
- TERMOCONFORMADO
- MOLDEO ROTACIONAL
- CONFORMADO DE CHAPA
- EXTRUSIÓN
- INYECCIÓN

En general hemos preparado experiencias que representan las necesidades del sector del juguete, como son las geometrías habituales, (placas, coche, cabeza de muñeca, elementos que reproducen piezas del hogar...), y también se han tenido en cuenta los requisitos técnicos de las piezas para ser transformados correctamente en cada tipo de proceso y los materiales necesarios como producto final, para poder validar el proceso comparándolo con los productos obtenidos fabricados con moldes convencionales. En estos casos hemos trabajado con los materiales más frecuentes que se emplean para la obtención de juguetes, tales como el polietileno, polipropileno, PVC o Zamak.

Los resultados se han obtenido a partir de la metodología enunciada en el capítulo III con la siguiente secuencia:

- Diseño de la pieza con las características geométricas apropiadas a cada proceso.
- Sinterización de la pieza por SLS.
- Evaluación del inserto obtenido de acuerdo con los requisitos del molde en cada proceso.
- Ajuste del molde, si procede, de acuerdo con las características de la máquina y materiales de procesado.
- Fabricación de piezas en material definitivo y evaluación de resultados.

En los siguientes apartados explicamos los resultados obtenidos en cada proceso y una evaluación de las ventajas e inconvenientes de la técnica utilizada.

### 3.1. FABRICACIÓN DE MOLDES-PROTOTIPO PARA TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS MEDIANTE SOPLADO

Hemos realizado mediante sinterizado selectivo por láser (SLS) dos tipos de moldes prototipo para transformación de termoplásticos mediante soplado: la figura de un martillo y de un destornillador.

Los diseños de las piezas fueron realizados mediante el software de CAD 3D I-DEAS, disponible en AIJU, y fueron exportados al formato STL con una tolerancia de 0.01 mm.

En las siguientes capturas de pantalla se pueden observar los diseños de los moldes realizados.

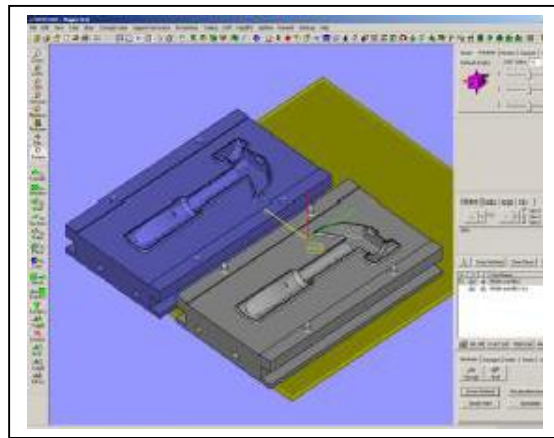


Figura IV-12. Diseño de una pieza



Figura IV-13: Molde obtenido

Los moldes fabricados por SLS han resultado aptos para su uso en el proceso de soplado, si

bien hemos tenido que realizar algunas modificaciones con objeto de adaptarlos a la máquina utilizada:

- En primer lugar se modificó en ambos moldes la entrada de aire para el soplado, con objeto de adecuarla a la máquina.

- Los moldes originales no poseían una forma de planchado a los lados de la figura.

Esta modificación se realizó en el taller de moldes, con objeto de que la rebaba producida en el soplado de la pieza poseyera más consistencia y así se pudiera retirar posteriormente con mayor facilidad.



Figura IV-14. Pieza obtenida sin retirar la rebaba.

Una vez realizadas estas dos modificaciones se procedió al soplado de las piezas. El material utilizado para el soplado ha sido polietileno de alta y baja densidad. Las figuras obtenidas en general presentan buen aspecto y consistencia. En la figura IV-15 se incluyen fotografías del molde fabricado y la pieza obtenida.



Figura IV-15. Molde para soplado y pieza obtenida: martillo

A la vista de los resultados obtenidos se deduce que hay que modificar el molde e introducir las siguientes mejoras:

- En primer lugar los dos moldes poseen un número elevado de salidas de aire y de un tamaño grueso, lo cual provoca que éstas queden marcadas en la pieza. Las salidas deberían tener por tanto un diámetro más pequeño, o como alternativa, se propuso incorporar a los moldes un postizo de un diámetro entre 5 y 10 mm, con pequeños orificios por los cuales se produciría la evacuación del aire del soplado, y así no quedarían marcas en la pieza. Esta alternativa se puede considerar en el caso de realizar moldes para piezas muy elaboradas.

- Otra de las mejoras propuestas es la mayor separación, en el molde, entre las guías y la figura. De esta forma no hay posibilidad de que la rebaba que se produce llegue a las guías, lo cual provocaría dificultades a la hora de cerrar completamente el molde. En el caso del molde para el destornillador se observa gran proximidad entre las guías y la cavidad de la figura (Figura IV-16).

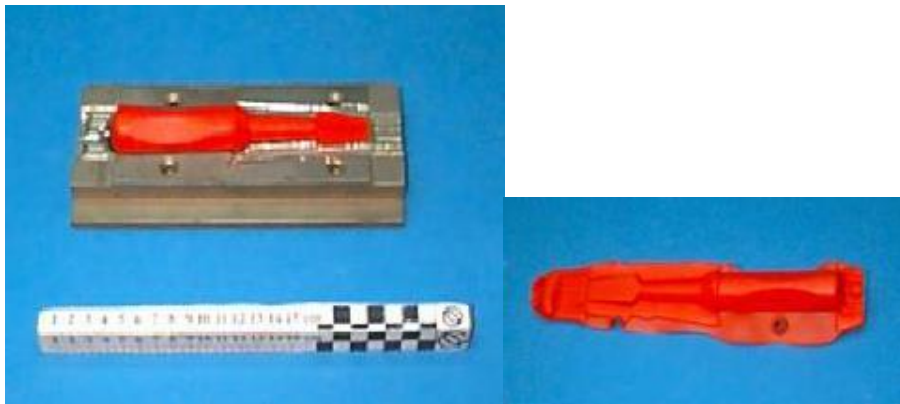


Figura IV-16. Molde y pieza de destornillador.

- El espesor de los moldes es también otro factor importante a considerar según la máquina a utilizar, ya que en el presente caso, hubiese convenido un espesor mayor de las dos partes de los moldes (de 30 a 40 mm más) para adaptarlos mejor a la máquina de soplado empleada.

- En cuanto al diseño de las figuras, se observa en el caso del martillo una parte muy fina en la punta, tal como se aprecia en la figura IV-15. Esto provoca que el material llegue con dificultad a dicha parte con lo que podría no llenarse la pieza por completo. Se sugieren puntas más redondeadas.

En la tabla IV-4 se indican los requisitos del molde para el proceso de soplado y su relacionan con los resultados obtenidos en el fabricarlo con SLS.

Necesidades	Descripción	A dónde se llega con SLS
Resistencia de las paredes del molde	Presión de soplado	Resistencia HRC 20. Suficiente para inyectar si construimos paredes de 2 cm
Precisión	Dependiendo del molde a construir la precisión varía de unas décimas a centésimas	Desde máquina el error que se obtiene es de 2 o 3 décimas. Cuando se requiere mayor precisión se debe rectificar los moldes en un banco CNC. Esto es problemático y no siempre se puede hacer
Espesores	Algunas paredes son inferiores a 2 mm	No pueden construirse paredes menores a 2mm. La solución es hacer las paredes más anchas y posteriormente mecanizar al tamaño real
Rebabas	Ajuste perfecto de las caras	Dependiendo del plano de partición del molde esto a veces no es problema y otras es un problema insalvable. Muchas veces se soluciona con CNC
Ajuste final	Encarado de las partes del inserto	Directamente de máquina, debido a errores de contracción del material en las distintas geometrías, es necesario un ajuste en banco de los insertos
Pulido	Dependiendo del acabado de pieza soplada hay que pulir más o menos	Por defecto de máquina el acabado de la pieza es bastante rugoso y aunque puede soplarse directamente si necesidad de pulir. Generalmente hay que repasar con CNC el inserto o pulir manualmente algunas paredes del macho o hembra para mejorar la calidad.
Entrada de aire	Para el soplado	Es mucho más fácil y preciso mecanizarlas posteriormente que incluirlas en el sinterizado

Tabla IV-4. Requisitos molde soplado y resultados obtenidos en el fabricado por SLS

Así, según los requisitos enunciados y las características del molde obtenido hemos comprobado la validez de la técnica de SLS para la obtención de moldes prototipo para moldeo por soplado.

Hemos obtenido piezas con buenas características físicas, pero hay que realizar muchas modificaciones en el molde de SLS.

Dado que los moldes de soplado se obtienen por técnicas tradicionales de forma más sencilla, consideramos que no es interesante continuar las investigaciones para mejorar este proceso.

### 3.2. FABRICACIÓN DE MOLDES-PROTOTIPO PARA LA INYECCIÓN DE PIEZAS EN ZAMAK

Hemos realizado mediante Sinterizado Selectivo por Láser (SLS) un tipo de moldes prototipo para la obtención de piezas en zamak por inyección: la figura de un soporte.

Los diseños de las piezas fueron realizados mediante el software de CAD 3D I-DEAS, disponible en AIJU, y fueron exportados al formato STL con una tolerancia de 0.01 mm.

En las siguientes capturas de pantalla se pueden observar los diseños de los moldes realizados.

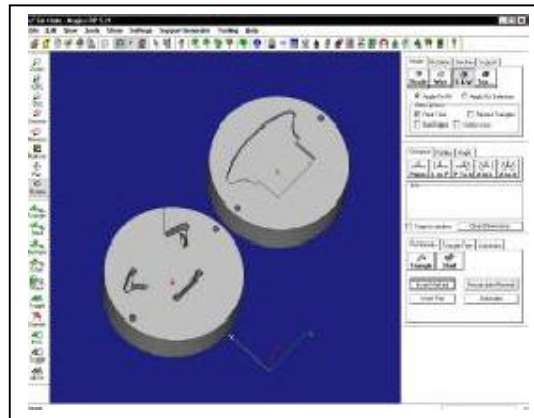


Figura IV-17. Diseño de las piezas



Figura IV-18. Moldes obtenidos

Los moldes fabricados han sido válidos para inyectar zamak, si bien ha habido determinados problemas en la calidad superficial de las piezas en la planitud de las caras. Para poder ser viable la utilización de estos moldes tuvimos que hacer rectificaciones tanto en el acabado como en la propia estructura del molde.

En el molde del soporte se tuvo que rectificar la base, ya que había sucedido una pequeña deformación en la base de los postizos, así como pulir las superficies para hacer viable la inyectada. Aparte de la propia desviación dimensional del proceso de sinterizado, este pulido provocó que el zamak escapara y se formaran pequeñas rebabas. Reducir este problema, como se comentará en las conclusiones, es bastante complicado debido a la inexactitud del proceso. Evitar las deformaciones de las piezas también es complicado debido a las altas temperaturas que sufren las piezas durante los procesos de horno, ya que se llega hasta los 1050°C.

Al probar el molde se observa que el material es bastante dúctil por lo que se mecanizaba con facilidad.

Los extractores de la pieza se colocaron con posterioridad al proceso de sinterizado y se mecanizaron los alojamientos de éstos de forma tradicional.

Así, realizadas las modificaciones pertinentes se obtiene la pieza inyectada, en la figura IV-19.

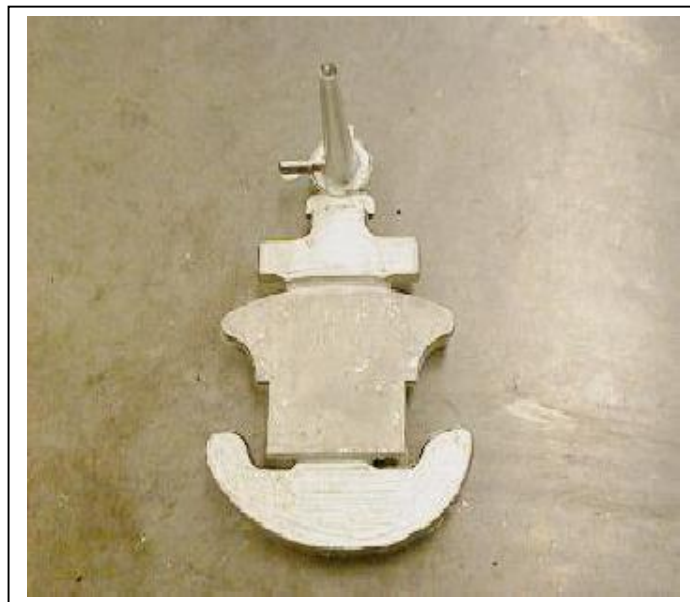


Figura IV-19. Pieza inyectada en Zamak

En la siguiente tabla exponemos los requisitos de un molde para inyectarlo con Zamak y las características de los moldes obtenidos por SLS.

Necesidades	Descripción	A dónde se llega con SLS
Resistencia de las paredes del molde	La presión de inyección con Zamak es elevada	Resistencia HRC 20. Suficiente para inyectar si construimos paredes de 1 cm
Precisión	Dependiendo del molde a construir, la precisión varía de unas décimas a centésimas.	Desde máquina el error que se obtiene es de 2 o 3 décimas. Cuando se requiere mayor precisión se debe rectificar los moldes en un banco CNC. Esto es problemático y no siempre se puede hacer
Espesores	Algunas paredes son inferiores a 2 mm	No pueden construirse paredes menores a 2mm. La solución es hacer las paredes más anchas y posteriormente mecanizar al tamaño real.
Rebabas	Ajuste perfecto de las caras	Dependiendo del plano de partición del molde esto a veces no es problema y otras es un problema insalvable. Muchas veces se soluciona con CNC.
Ajuste final	Encarado de las partes del inserto	Directamente de máquina, debido a errores de contracción del material en las distintas geometrías, es necesario un ajuste en banco de los insertos.
Pulido	Dependiendo del acabado de pieza inyectada, hay que pulir más o menos	Por defecto, de máquina, el acabado de la pieza es bastante rugoso y no siempre puede inyectarse directamente si necesidad de pulir. Generalmente hay que reparar con CNC el inserto o pulir manualmente algunas paredes del macho o hembra.
Desmoldeo	La pieza debe poder expulsarse en el proceso de inyección	En función de la posición de creación del inserto, la laminación del diseño (por motivos físicos) es un inconveniente (paredes irregulares que generan contrasalidas que provocan agarre de la inyectada). Se soluciona colocando los insertos en máquina de forma que la laminación favorezca el desmoldeo, en caso de producirse, reparar los insertos en CNC.
Sistema de Refrigeración	Enfriamiento del molde cuando las series de inyección son largas	Puede realizarse directamente desde sinterizado.
Expulsores	Para facilitar la extracción de la pieza	Se pueden construir directamente en SLS pero es más práctico y cómodo diseñarlas posteriormente en el taller
Características de Inyección	Parámetros en la máquina de inyección	Los parámetros a configurar en la máquina de inyección son los específicos de cada material. Posiblemente por temas de llenado variará la presión en función de la geometría.

Tabla IV-5. Requisitos molde para inyección de zamak y resultados obtenidos en el molde fabricado por SLS



Así, hemos comprobado que el material sí es adecuado, por lo que esta técnica de Sinterizado sí es útil, pero debido al acabado superficial del material sinterizado es una desventaja para su utilización en moldes de inyección de zamak. Y como el proceso de inyección de zamak no es de los más utilizados en la fabricación de juguetes, de momento consideramos no seguir la investigación en esta vía.

### 3.3. FABRICACIÓN DE MOLDES-PROTOTIPO PARA TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS MEDIANTE TERMOCONFORMADO

Hemos realizado mediante Sinterizado Selectivo por Láser (SLS) cuatro tipos de moldes prototipo para transformación de termoplásticos mediante termoconformado. Entre los diseños estaban dos planchas con formas geométricas y letras para artículos de uso infantil. En la figura IV-20 se ve un ejemplo.



Figura IV-20. Piezas para termoconformado

Los diseños de las piezas fueron realizados mediante el software de CAD 3D I-DEAS, disponible en AIJU, y fueron exportados al formato STL con una tolerancia de 0.01 mm.

Se sinteriza la pieza como es habitual y se filtra en el horno. Posteriormente se adecua la pieza para ser utilizada como molde y para ello se realizaron las siguientes modificaciones:

- Se crearon de nuevo los agujeros necesarios para la evacuación del aire en el proceso de termoconformado ya que los realizados directamente en el archivo STL fueron de 1 mm, demasiado pequeños como para que se observara una definición suficiente., y posteriormente los hicimos de 2 mm.
- Se realizó un proceso de rectificado y ajuste del molde con el fin de que encajara en el portamoldes de las máquinas para así posibilitar el proceso de termoconformado ya que las desviaciones dimensionales del molde hacían inviable su uso directamente.

El material utilizado para el proceso ha sido polietileno de alta y baja densidad.

Una vez realizadas estas modificaciones en los moldes se procedió al proceso de transformación.

- Se observaron rebabas en todas las piezas que tuvieron que ser eliminadas. Ello fue debido a la deformación en la planitud de los postizos, que oscilaron entre 0.4 y 0.8 mm.

Como conclusión, hemos comprobado la validez de la técnica de SLS para la obtención de moldes prototipo para moldeo por termoconformado, ya que se han obtenido piezas con una calidad mecánica buenas y con una calidad superficial y dimensional media. Ahora bien, la rentabilidad del proceso frente a mecanismos tradicionales podemos calificarla como inferior ya que, como se ha indicado anteriormente, el tener que recurrir a procesos de eliminación de material encarece importantemente el proceso tanto en tiempo como en coste.

### 3.4. FABRICACIÓN DE MOLDES-PROTOTIPO PARA TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS MEDIANTE MOLDEO ROTACIONAL

Se han realizado mediante Sinterizado Selectivo por Láser (SLS) tres piezas de un mismo diseño para la elaboración de cabezas de muñeca en PVC blando. Este es uno de los diseños más emblemáticos del moldeo rotacional, ya que las cabezas de muñeca se hacen casi exclusivamente por medio de este proceso de conformado.

Los diseños de las piezas fueron realizados mediante el software de CAD 3-D STUDIO y fueron exportados al formato STL con una tolerancia de 0.01 mm. En la siguiente captura de pantalla se puede observar el diseño del molde.

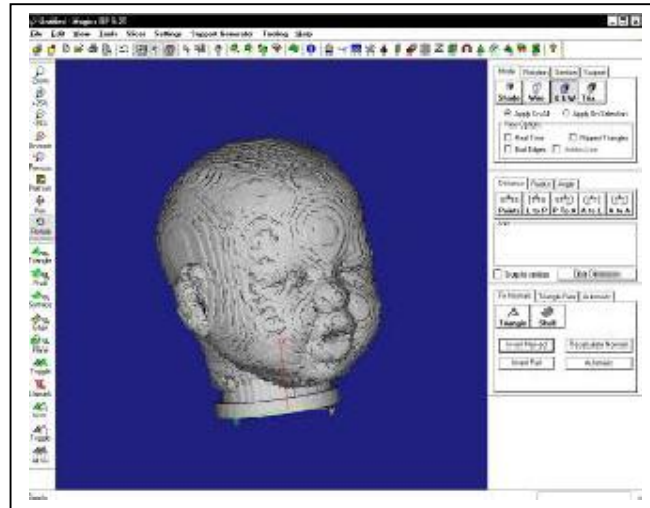


Figura IV-21. Diseño Pieza

En la siguiente figura se observan los tres moldes construidos.



Figura IV-22. Piezas Sinterizadas

Uno de los tres moldes realizados, como se observa en la figura IV-22, se rompió en el proceso de horno y el resto tras limpiarse con extrema delicadeza consiguieron soportar todo el proceso.

En la siguiente tabla se describen los requisitos de estos moldes de rotacional y las características y limitaciones de los obtenidos por SLS.

Necesidades	Descripción	A donde se llega con SLS
Diseño y estética de los insertos	Deben ser huecos por dentro de forma que el plástico se moldee con las paredes interiores según gira el molde	Las piezas en "verde" tienen poco material para ser soportadas y el proceso de limpieza es muy difícil debido a la fragilidad de la pieza  El proceso de horno requiere cubrir totalmente la pieza con alúmina gruesa. Por tanto se requiere rellenar la cavidad del molde con este material para que no colapse durante el proceso de horno. Este proceso también es complicado porque hay que asegurarse que no queda en el interior material no sinterizado que se adheriría al molde tras el primer ciclo, y el manejo del molde es comprometido debido a su forma y su peso así como la adecuación en la bandeja de alúmina del crisol de grafito
Precisión	Dependiendo del molde a construir, la precisión varía de unas décimas a centésimas.	Desde máquina el error que se obtiene es de 2 o 3 décimas. Cuando se requiere mayor precisión se debe rectificar los moldes en un banco CNC. No es posible debido a problemas de accesibilidad de la fresa.
Espesores	Algunas paredes son inferiores a 2 mm	No pueden construirse paredes menores a 2mm.
Pulido	Para desmoldeo	El proceso de mecanizado y pulido es necesario para hacer posible el desmoldeo de la pieza en PVC por lo que si este paso no es posible, se inhabilita por completo el uso de esta tecnología para este tipo de moldes.

Tabla IV-6. Requisitos molde de moldeo-rotacional y resultados obtenidos en el fabricado por SLS

De estos datos se deduce que los moldes realizados no fueron aptos para su uso como moldes rotacionales. Las razones fueron diversas:

- En primer lugar por el propio diseño. Este tipo de moldes deben ser huecos por dentro de forma que el plástico se moldee con las paredes interiores según gira el molde. Esto conlleva que las piezas en "verde" tienen poco material para ser soportadas y el proceso de limpieza es muy difícil debido a la fragilidad de la pieza. Gran parte de los moldes se rompieron en el proceso de extracción de la máquina de sinterizado.
- En segundo lugar el proceso de horno requiere cubrir totalmente la pieza con alúmina gruesa. Por tanto se requiere rellenar la cavidad del molde con este material para que no colapse durante el proceso de horno. Este proceso también es complicado porque hay que

asegurarse que no queda en el interior material no sinterizado que se adheriría al molde tras el primer ciclo y el manejo del molde es comprometido debido a su forma y su peso así como la adecuación en la bandeja de alúmina del crisol de grafito.

- En tercer lugar, si el molde ha conseguido salir intacto de todo el proceso, es necesario mecanizar la superficie interna con los problemas de accesibilidad de la fresa que ello conlleva. Además al no haber un programa de mecanizado de la pieza éste se ha de hacer de una forma manual y la visibilidad de la cavidad es mínimo. Partir el molde es inviable porque un soldado posterior del molde alejaría por completo las medidas.
- El proceso de mecanizado y pulido es necesario para hacer posible el desmoldeo de la pieza en PVC, por lo que si este paso no es posible se inhabilita por completo el uso de esta tecnología para este tipo de moldes.
- Si a todo esto unimos la elaboración de este tipo de moldes por escayolas con el ahorro económico que ello conlleva, la validación del SLS para la construcción de este tipo de moldes podemos concluirlo como negativa.

### 3.5. FABRICACIÓN DE ÚTILES DE MATRICERÍA PARA EL CONFORMADO DE CHAPA

Hemos realizado mediante Sinterizado Selectivo por Láser (SLS) útiles de matricería para el conformado de chapa. Se hicieron con el objetivo de analizar hasta qué grosor de tabiques y machos es posible sacar de máquina sin rotura. Para ello se realizaron dos escalas con tabiques desde 0.5 mm hasta 6 mm con incrementos de cada 0.5 mm y un disco con cilindros de altura 10 mm con diámetros entre 1 y 10 mm con incrementos de cada 0.5 mm.

Los diseños de las piezas fueron realizados mediante el software de CAD 3D I-DEAS, disponible en AIJU, y fueron exportados al formato STL con una tolerancia de 0.01 mm. En las siguientes figuras se pueden observar los diseños del utillaje realizado por medio del equipo de Sinterizado Selectivo por Láser.

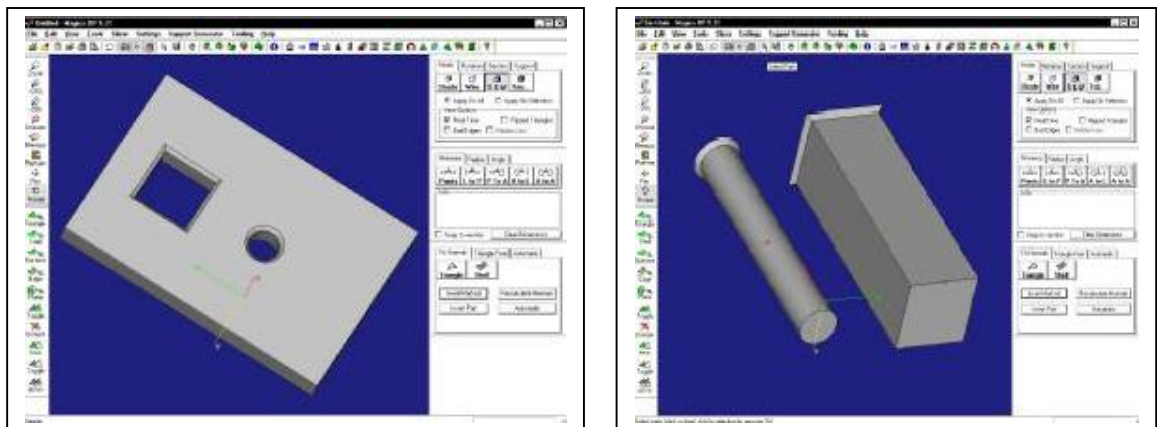


Figura IV-23. Diseño de piezas

En las piezas de escala no se pudieron obtener tabiques por debajo de 1 mm y cilindros por debajo de 1.5 mm. Esto es debido a la fragilidad de la pieza en "verde". Las roturas se producían en la fase de extracción de la máquina de sinterizado y su posterior limpieza.

Estos valores han de ser tomados muy en cuenta para posteriores diseños, ya que nos indicarán la viabilidad de determinados proyectos.

Se pueden apreciar en las siguientes figuras IV-24 y IV-25 correspondientes a una captura de pantalla del diseño de las escalas y las figuras IV-26 y IV-27 de las escalas ya construidas, ahí se aprecian las roturas anteriormente reseñadas.

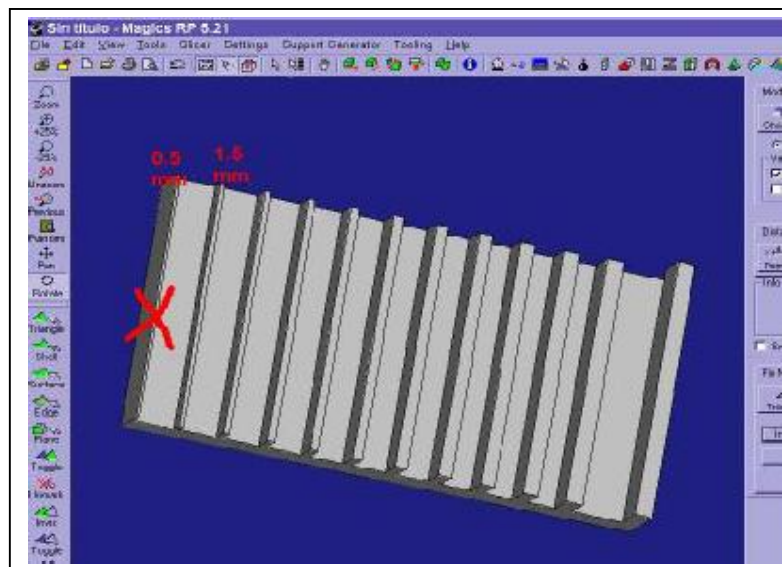
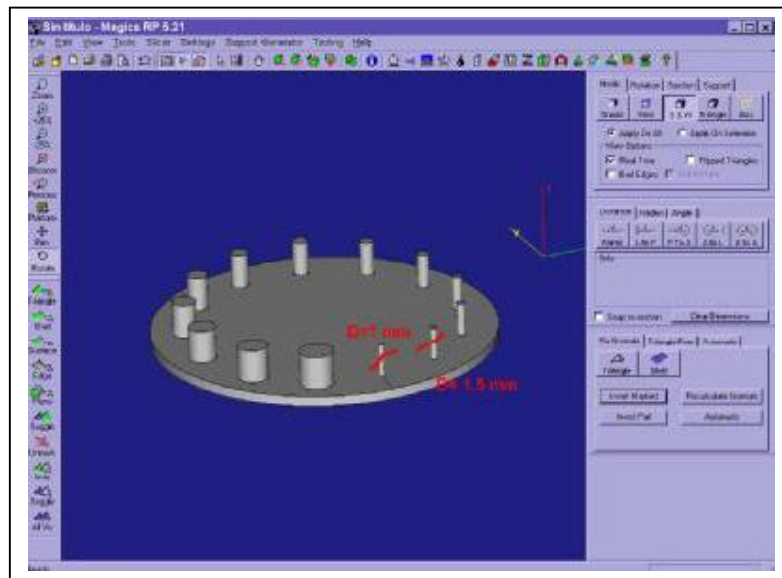


Figura IV-24 y IV-25. Diseño de piezas escala

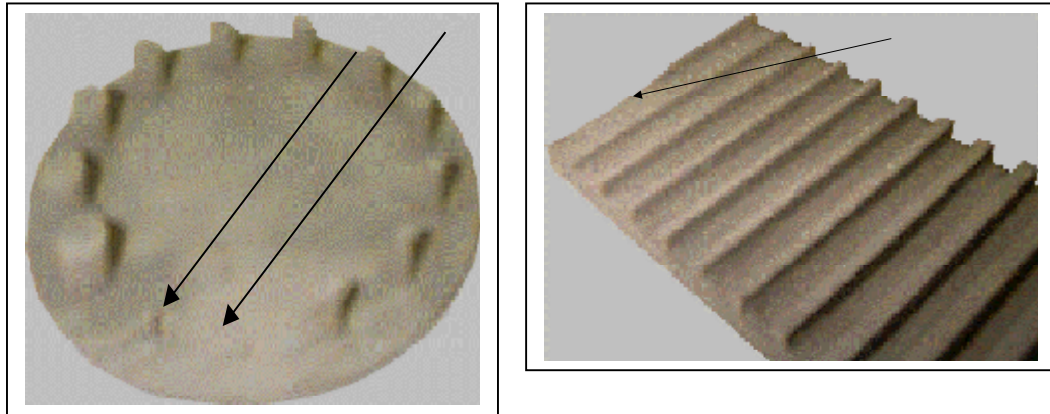


Figura IV-26 y IV-27. Piezas construidas, a partir diseños de la figura IV-24 y IV-25.

Hay que recordar que en útiles de matricería las tolerancias dimensionales requeridas para los machos y las hembras son de centésimas de milímetro. Además de ello es necesario garantizar la existencia de cantos vivos en los extremos de la figura para, así, poder garantizar el corte de la chapa.

Estas dos características no pueden cumplirlas las piezas de sinterizado, ya que las desviaciones dimensionales son de un grado de orden mayor, entre 0.2 y 0.4 mm, y no es factible la obtención de cantos vivos por la propia erosión de la pieza durante la limpieza así como por las características del material, el polvo sinterizado da un radio de curvatura en los perfiles de media décima de milímetro.

Esto lleva a la necesidad de realizar un mecanizado de la pieza por herramientas de eliminación de material para conseguir estos objetivos. Debido a ello es necesario añadir material en el diseño de forma que se tenga en cuenta para el posterior proceso de mecanizado.

No obstante al tener que recurrir a un proceso de eliminación de material, ya sea CNC o no, no es rentable la obtención de utillaje de este tipo por Sinterizado Selectivo por Láser, además tampoco el proceso es más rápido que los procedimientos tradicionales.

Como conclusión se ha probado la validez de esta tecnología para la obtención de útiles de matricería. No obstante la necesidad de posteriores fases de acondicionamiento de las piezas no hace este método de obtención de utillaje rentable frente a los métodos tradicionales.

### 3.6. FABRICACIÓN DE MOLDES-PROTOTIPO PARA TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS MEDIANTE EXTRUSIÓN

Hemos realizado mediante sinterizado selectivo por láser (SLS) boquillas de extrusión para la transformación de termoplásticos mediante extrusión.

El diseño de la boquilla fue realizado mediante el software de CAD 3D I-DEAS, disponible en AIJU, y fue exportado al formato STL con una tolerancia de 0.01 mm. En la siguiente captura de pantalla (figura IV-28) se pueden observar el diseño de la boquilla que corresponde a la boquilla que posteriormente se ve montada en la extrusora tras realizar la extrusión del material plástico.

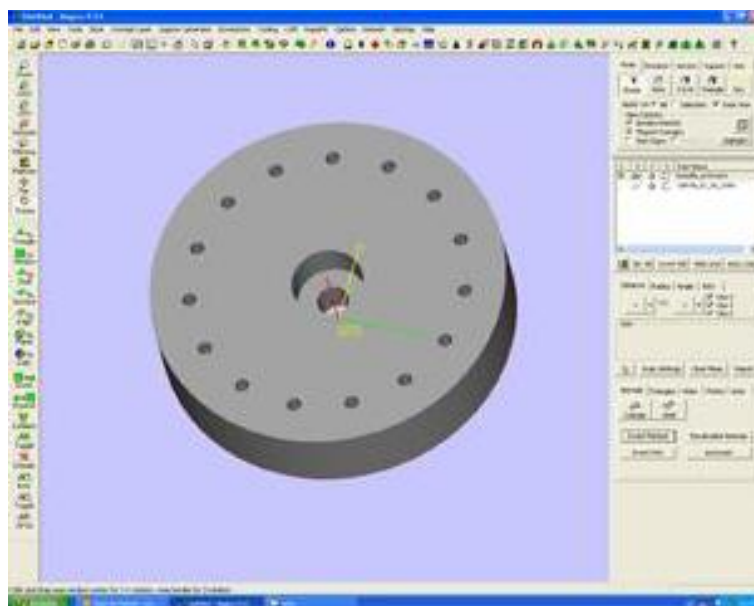


Figura IV-28. Diseño de pieza

La realización de la boquilla no conllevó problemas en el sinterizado ni en la limpieza de las piezas. Tampoco se observaron alabeos de la pieza posteriores al proceso de horno. La boquilla de la microextrusora, dada ya nuestra experiencia previa, se realizó con un grosor mayor del requerido para evitar roturas en el posterior proceso de limpieza. Este "stock" adicional de material tendría que ser y fue eliminado en un proceso de mecanizado. Los grosores de 2 mm y altura 30 mm habrían sido inviables directamente en máquina de sinterizado. Se mecanizó y pulió el conducto de salida de material y se mecanizaron posteriormente por medio de un macho los filetes de rosca para el acople en la microextrusora. Como se ha comentado los filetes de rosca debido al grosor que tienen para esos tamaños son inviables de realizar directamente en el proceso de sinterizado.

En la figura IV-29 se puede observar la boquilla de extrusión realizada.





Figura IV-29. Piezas obtenidas

La boquilla tuvo que ser mecanizada para ofrecer una superficie totalmente plana con el objetivo de que acoplara perfectamente en la extrusora.

Es necesario señalar que debido a la imposibilidad de realizar cantos vivos directamente de máquina, si se requieren perfiles de extrusión con líneas rectas es obligatorio mecanizarlos con un equipo de eliminación de material. Ya que es el mismo proceso para elaborar las boquillas por métodos tradicionales, no se han observado adelantos importantes en el uso de esta tecnología frente a los métodos tradicionales. Pero está claro que sí se pueden obtener y esta técnica se puede usar como alternativa más versátil que la tradicional.

### 3.7. FABRICACIÓN DE MOLDES-PROTOTIPO PARA LA INYECCIÓN DE PIEZAS EN PLÁSTICO

Así, para evaluar las prestaciones en el proceso de inyección con un molde fabricado por SLS, hemos realizado experiencias con piezas diseñadas con las características de formas, dimensiones, acabados, etc. que representan un ejemplo del producto juguetes o sus elementos, como es un volante.

Los diseños de las piezas fueron realizados mediante el software de CAD 3-D STUDIO y fueron exportados al formato STL con una tolerancia de 0.01 mm. En la figura IV-30 se ve la captura de pantalla de la figura escogida.

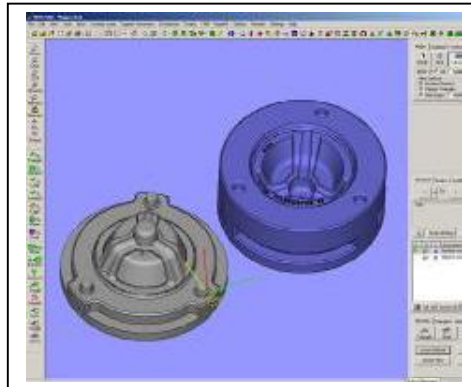


Figura IV-30. Diseño de las piezas

La metodología utilizada ha sido, como en los apartados anteriores, en primer lugar el diseño de piezas con diferentes dimensiones y formas para así comprobar el comportamiento de éstas en el sinterizado y en el horno, siempre considerando los parámetros críticos que afectan a la calidad y utilidad del molde-prototipo.

Una vez obtenidos los moldes-prototipo se llevan a un portamoldes y se prueba si se inyecta, y primeramente probamos en materiales blandos como es el polietileno con objeto de validar la utilidad de la tecnología.

En principio aparecen muchos problemas como es la pieza que no está pulida, se agarra al plástico y es imposible inyectar, también se ve como es la manipulación en sinterizado e infiltración, que presentan muchos errores si seguimos los procedimientos del manual de instrucciones del fabricante o las recomendaciones del servicio técnico. Pero dada la importancia que tiene este proceso en la fabricación de juguetes, pensamos que debemos investigar y hacer pruebas para mejorarlo. Así, se realizan diferentes diseños y realizamos muchas experiencias de prueba-error hasta obtener resultados positivos en cada parámetro crítico. En la figura IV-31 se ven los moldes y las piezas obtenidas.



Figura IV-31. Molde y pieza inyectada en plástico

A la vista de que se obtienen resultados que en principio indican que es utilizable esta técnica para fabricar moldes de inyección, y teniendo en cuenta que la mayoría de los juguetes se fabrican mediante este proceso, es por lo que consideramos de gran interés el perfeccionar el uso

de la técnica y elaborar un procedimiento junto con unas indicaciones de limitaciones y utilidades, ya que no es universal, pero si parece útil para muchos tipos de figuras.

En la tabla IV-7 se expone un resumen de los requisitos de los moldes de inyección y los resultados obtenidos con el fabricado por SLS.

Necesidades	Descripción	A dónde se llega con SLS
Precisión	Dependiendo del molde a construir, la precisión varia de unas décimas a centésimas.	Desde máquina el error que se obtiene es de 2 o 3 décimas. Cuando se requiere mayor precisión se debe rectificar los moldes en un banco CNC. Esto es problemático y no siempre se puede hacer
Espesores	Algunas paredes son inferiores a 2 mm	No pueden construirse paredes menores a 2mm. La solución es hacer las paredes más anchas y posteriormente mecanizar al tamaño real.
Rebabas	Ajuste perfecto de las caras	Dependiendo del plano de partición del molde esto a veces no es problema y otras es un problema insalvable. Muchas veces se soluciona con CNC.
Ajuste final	Encarado de las partes del inserto	Directamente de máquina, debido a errores de contracción del material en las distintas geometrías, es necesario un ajuste en banco de los insertos.
Pulido	Dependiendo del acabado de pieza inyectada, hay que pulir más o menos	Por defecto, de máquina, el acabado de la pieza es bastante rugoso y no siempre puede inyectarse directamente si necesidad de pulir. Generalmente hay que repasar con CNC el inserto o pulir manualmente algunas paredes del macho o hembra.
Desmoldeo	La pieza debe poder expulsarse en el proceso de inyección	En función de la posición de creación del inserto, la laminación del diseño (por motivos físicos) es un inconveniente (paredes irregulares que generan contrasalidas que provocan agarre de la inyectada). Se soluciona colocando los insertos en máquina de forma que la laminación favorezca el desmoldeo, en caso de producirse, repasar los insertos en CNC.
Cantidad de Inyectadas	Nº máximo de piezas a inyectar	Hemos probado a inyectar un número superior a 10.000 piezas sin encontrar desgaste en los insertos.
Sistema de Refrigeración	Enfriamiento del molde cuando las series de inyección son largas	Puede realizarse directamente desde sinterizado.

Tabla IV-7.Requisitos moldes de inyección y resultados del molde fabricado por SLS

Así, pensamos que estas limitaciones son superables en parte con la realización de las investigaciones llevadas a cabo en esta Tesis, y es por lo que se realizara un procedimiento para ello.

### 3.8. LIMITACIONES Y UTILIDADES DE LA TECNOLOGIA PARA FABRICACIÓN DE MOLDES-PROTOTIPO

Para la fabricación de moldes-prototipo se requieren otros procedimientos y además el uso de otras tecnologías complementarias. Así, hay que considerar todas las variables en su conjunto al inicio del proceso de desarrollo del artículo, esto es, en la fase inicial del diseño de la pieza, para así poder adecuar éste a las necesidades finales de la pieza teniendo en cuenta todos los requerimientos de las etapas intermedias.

De los resultados de fabricación de prototipos metálicos y de moldes-prototipo, se deduce que faltan variables a definir, otras que hay que modificar o completar, pues el proceso no esta suficientemente estudiado, tal como se indicó en capítulo 3. Por lo que se deduce que, además de haber validado la tecnología para la fabricación de prototipos de juguetes, hay que hacer una amplia investigación para el proceso de fabricación de moldes-prototipo, y dentro de éstos los de Inyección, que son los moldes más utilizados en juguetes, y dónde se ve a priori que la técnica del SLS puede aportar ventajas, y el primer paso es elaborar un "Procedimiento de Operación" para ello.

## 4. PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN DE MOLDES-PROTOTIPO PARA INYECCIÓN

Para la obtención del procedimiento, se han realizado las siguientes actividades:

- Selección de las variables del proceso de SLS que afectan a la fabricación de los materiales metálicos, que es el necesario para fabricar los moldes-prototipo.
- Modificación experimental de las variables seleccionadas.
- Planteamiento de diferentes diseños de "probetas" con objeto de ir ajustando parámetros en cada caso, permaneciendo unas variables fijas y verificando el comportamiento de otras, así se ha validado cada característica de la pieza final, y se han obtenido conclusiones de los parámetros óptimos de trabajo.

- Posteriormente estos parámetros se han utilizado para la fabricación de piezas reales utilizadas en juguetes para verificar los datos.

En el siguiente esquema, figura IV-32, se visualiza el procedimiento seguido:

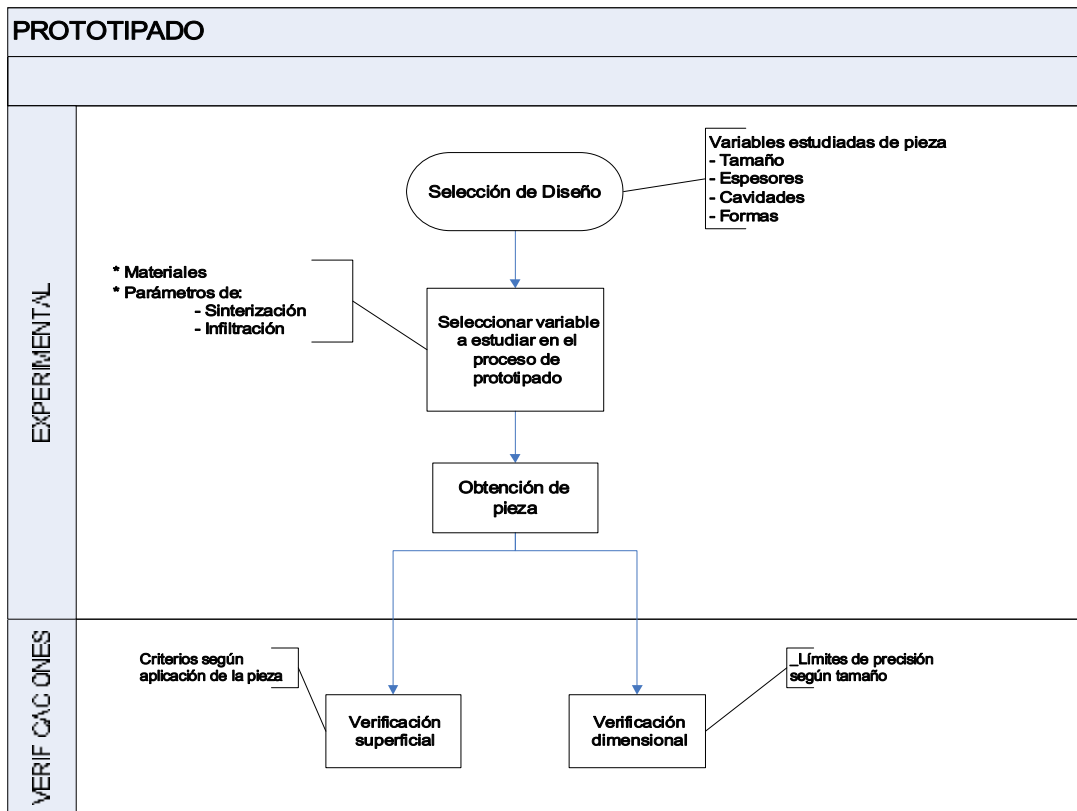


Figura IV-32. Esquema del procedimiento de trabajo

Una vez seleccionadas y obtenidas las condiciones experimentales óptimas de trabajo para fabricar las piezas metálicas hay que considerar la relación con las propiedades de un molde, por lo que hay que introducir el efecto de estas variables propias del proceso de inyección cuando se utiliza el molde y así tener presente su efecto en la fabricación de éste por SLS.

Por lo tanto, para elaborar el procedimiento de fabricación de moldes-prototipo para inyección se considera más útil desglosar este procedimiento en los tres procesos claves que intervienen y así se estudian las variables de cada uno, estos procesos son:

- 1.- Sinterización
- 2.- Infiltración
- 3.- Fabricación Inserto

#### 4.1. SINTERIZACIÓN

En el proceso de Sinterización se estudian las variables que afectan a la mejora de la pieza sinterizada en metal, que será el inserto del molde-prototipo para inyección.

Las variables estudiadas son:

- 1-Materiales: tipo, calidad, tratamientos
- 2-Posición de las piezas
- 3-Temperatura de trabajo, potencia, espesor de la capa

#### 4.1.1. MATERIAL

El material tiene unas propiedades definidas en su fabricación y esta comercializado así, pero hay que supervisar que se mantienen. En teoría se puede reciclar, pero ello tiene un límite y sobretodo hay que tomar ciertas precauciones.

El material se debe almacenar a una temperatura inferior o igual a 38°C y sellar el contenedor de almacenamiento con objeto de evitar que se contamine, pues cambiarían sus características de elaboración, originando piezas de calidad indeseable.

Tras diversas pruebas de tamizado y reciclado del material hemos concluido que durante el tamizado del polvo metálico, hay que eliminar las partículas de mayores dimensiones (polvo que ha quedado apelmazado y contaminado). Tras la fabricación de una pieza, se ha de inspeccionar el polvo de la cama central y de los cartuchos de desbordamiento. Si se detecta cualquier tipo de residuos, se eliminan y se vuelve a tamizar el polvo. Si el polvo aparece limpio, se traspasa a los cartuchos de alimentación y reutiliza.

Tras unos 40 usos del material y comprobado con nuestra experiencia, éste pierde parte de sus propiedades adhesivas (aglutinante), y esto provoca laminado de las piezas durante el sinterizado (en verde) perdiendo las características de dureza y provocando deformación geométrica de las piezas.

#### 4.1.2. POSICIÓN DE LAS PIEZAS

La colocación de la pieza en el cubo de sinterizado es muy importante, primero hay que utilizar las condiciones óptimas propias del material metálico para que se obtengan piezas con calidad y resistencia. Por otro lado, hay que tener presente que esa pieza será un inserto de un molde de inyección, y esto quiere decir que debe tener un acabado superficial suave y que permita este uso y que no agarre el plástico cuando es inyectado.

El proceso de sinterizado se desarrolla por deposición de material capa a capa, así origina un acabado rugoso, que en principio hace inservible la pieza para que sea utilizada como molde.

Así, una parte del procedimiento es mejorar este acabado y conseguir las condiciones óptimas en los parámetros que afectan a éste.

En la figura IV-33 se expone el diseño que se ha utilizado para evaluar la colocación en máquina.

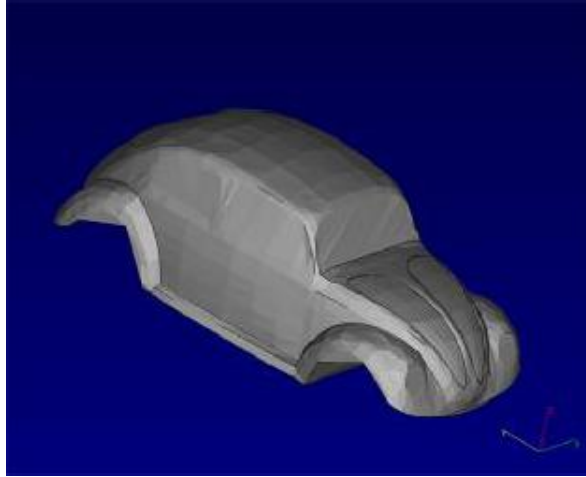


Figura IV-33. Pieza utilizada para estudiar la colocación en máquina

Se comprueba que en la posición vertical se ha mejorado el acabado superficial, se ha evitado la rugosidad y por tanto al inyectar se mejora la expulsión. En la figura IV-34 se indican detalles de las piezas obtenidas después de ser colocadas en diferentes posiciones.

Y para la fabricación del molde recomendamos, tras varias experiencias de ensayo y error, orientar las piezas de forma que la base del molde (cavidad o núcleo) se construya en primer lugar y la parte con la forma del molde al final.



Figura IV-34. Piezas ya sinterizadas en diferentes posiciones (detalles del acabado superficial)

Por otro lado además de sinterizar la pieza, se ve la necesidad de sinterizar unas placas para mejorar la manejabilidad en la etapa posterior de infiltración.

Las "placas de infiltración" son piezas pequeñas, planas y rectangulares fabricadas en la sinterización y utilizadas durante la infiltración en el ciclo del horno.

Las dimensiones estandarizadas son 152x38x6 mm. Estas placas pueden ser lanzadas al proceso de sinterizado al mismo tiempo que la pieza deseada. Se preparan y sinterizan las placas junto con las piezas. Durante el ciclo de infiltración, se colocan las placas rodeando la pieza y procurando una disposición simétrica entorno a ella. Los cubos de bronce se sitúan sobre estas placas para la infiltración.

Durante las pruebas y uso del nuevo material hemos optimizado el proceso de infiltración de piezas e insertos pequeños, evitando la erosión que provoca la infiltración laminar del bronce en el proceso del horno, para ello se ha colocado unas planchitas intermedias entre la pieza y las placas de infiltración, que unidas mediante un adhesivo aseguran la estabilidad y al mismo tiempo la infiltración, consiguiendo perfectos resultados.

#### 4.1.3. PARÁMETROS DE CARGA: TEMPERATURAS, POTENCIA DEL LASER, ESPESOR DE LA CAPA

Consiste esta etapa en la preparación de los parámetros de avance apropiados para los cartuchos en la ventana de lanzamiento de la carga del programa de la máquina de sinterizado. Por defecto, el espesor de capa en la cama de sinterizado es de 0.076 mm. El avance de alimentación de los cartuchos es de 0.23 mm. Como regla general, se usarán estos valores que pueden ser alterados si se estima necesario. Visualmente, se puede determinar el avance de alimentación óptimo de los cartuchos. Éste aporta la cantidad suficiente de polvo para cubrir la zona de la cama. Cuando el rodillo alcanza el lado opuesto de la cama de sinterizado, todo el polvo ha sido depositado.

Seguidamente hay que hacer la elección de la potencia de láser apropiada en la ventana de descripción de la pieza del programa de la máquina. La resistencia de la pieza en verde fabricada mediante SLS varía entre 1.4 y 2.1 MPa, dependiendo de las condiciones del proceso y de la geometría de la pieza.

A muy baja potencia de láser el aglomerante no funde. Con el aumento de la potencia del láser crece la resistencia en verde de la pieza. Sin embargo, demasiada energía puede provocar la descomposición del aglomerante, lo que conlleva una menor resistencia en verde. Por consiguiente, hemos concluido que existe una potencia de láser óptima para obtener una máxima resistencia en verde. Para la máquina de SLS utilizada ofrecemos a continuación los datos óptimos de los parámetros de carga.

Temperatura inicial de 110°C con una rampa de descenso a los 2 mm hasta la temperatura de 90°C que se mantiene hasta el final de la construcción.

Velocidad de sinterizado del láser = 90

Potencia del Láser (W) = 24.

Espesor de sinterizado (mm) = 0.076

En la tabla IV-8, se resumen los resultados de las variables de "sinterizado" críticas y su relación con las propiedades de la pieza final



CARACTERÍSTICAS PROCESO	CARACTERÍSTICAS PRODUCTO FINAL
ESPESOR DE CAPA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempo de sinterizado</li> <li>• Definición de los detalles</li> <li>• Homogeneidad en la pieza</li> </ul>
POTENCIA LÁSER	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exactitud en dimensiones</li> <li>• Resistencia</li> </ul>
TEMPERATURA DE TRABAJO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia del material</li> <li>• Acabado</li> </ul>

Tabla IV-8. Parámetros críticos del proceso "sinterizado"

## 4.2. INFILTRACIÓN

Se han estudiado las variables que afectan a la mejora del proceso de infiltración de las piezas metálicas sinterizadas.

Estas variables son:

- 1.- Manejo de la pieza sinterizada (pieza en "verde")
- 2.- Cantidad de material y tipo de material
- 3.- Parámetros del ciclo de horno: tiempo, temperatura

### 4.2.1. TRATAMIENTO DE LA PIEZA SINTERIZADA, PIEZA EN VERDE

Debido a que el material está compuesto de acero en polvo con partículas de aglutinante, en el proceso de sinterizado (temperaturas de 150°C) el acero no cambia de estado (el acero funde cerca de los 1050°C y esto se realiza más tarde en el ciclo del horno), y el láser en el proceso de sinterizado funde el aglutinante para unir el polvo de acero en las distintas capas, de forma que la pieza obtenida al final del proceso es muy delicada, por eso se denomina pieza en "verde".

Tratar de manipular esta pieza es muy delicado, por lo que en esta fase hemos investigado para tratar de buscar nuevas técnicas que hagan más resistente la pieza en "verde" o, en su defecto, localizar técnicas para perfeccionar la manipulación de esta pieza para que el deterioro de la misma sea mínimo.

Se descartó tras las primeras pruebas con “Loctite” (realizadas por indicación del proveedor de la tecnología) cualquier tipo de recubrimiento con algún tipo de componente, ya que siempre se alteraba el estado y/o la dimensionalidad de la pieza. En el mejor de los casos, se producían marcas reseñables sobre la superficie de la pieza, debido al utensilio empleado para su imprimación (pincel con cerdas). En el caso de emplear cuentagotas, para no usar superficies en contacto, se producían deformaciones sobre la superficie.

En la figura IV-35 se presenta el procedimiento convencional o teórico de cómo se debería limpiar la pieza, que es con un pincel suave y directamente a mano, este procedimiento crea alteraciones en la superficie de la pieza, en las dimensiones y también aumenta el riesgo de rotura de las paredes finas.



Figura IV-35. Limpieza de pieza teórica

Así, estudiamos otras posibilidades y para ello se realizamos varios ejemplos de diferentes geometrías para utilizar diferentes tratamientos de la pieza, y así se determinó como procedimiento que la mejor forma de manipular la “pieza en verde” es empleando soportes en su construcción, que ya hemos comentado en el apartado anterior y son las llamadas “placas de infiltración”. De esta forma se maneja la pieza a través de estas bases muy fácilmente manipulables, y se limpia la pieza con una pistola de aire a una presión siempre inferior a 0,5 bares.

Inicialmente se utilizó la presión de 2 bares por indicación del proveedor de la tecnología, y como la pieza se rompía, hicimos otras pruebas con menor presión, bajando hasta los 0,5 bares.

Para esto fue preciso el empleo de aspersores que succionaran el exceso de material sin contaminar excesivamente el ambiente de trabajo. En la figura IV-36 se visualiza cómo se limpia la pieza.



Figura IV-36. Limpieza de pieza propuesta

Por lo que con este nuevo procedimiento de tratamiento de la pieza en verde se mejora el acabado superficial del molde, y esto es muy importante ya que permite mejorar la utilidad de las piezas como moldes.

#### 4.2.2. CANTIDAD DE MATERIAL Y TIPO DE MATERIAL

Se trabaja con el material Bronce como elemento de infiltración debido a sus características de estabilidad térmica y temperatura de fundición, pero también se investigó la búsqueda de otros metales alternativos para conseguir mejorar el alabeo de las piezas o simplemente comprobar si se mejoran las propiedades.

Esta fase también se desarrolló con un resultado negativo. Se probó con un material bastante similar al Bronce, el Cobre, pero desde el primer momento no se pudo infiltrar. Se varió la rampa de infiltración alargando y acortando tiempos desde 2 horas hasta 5 horas, según indicación del proveedor, y se subió hasta 10 horas para el Cobre con tal de comprobar si había infiltración o no, pero el resultado fue el mismo, inexistencia de infiltración.

La siguiente fase fue determinar el porcentaje óptimo de Bronce que podía infiltrarse por capilaridad empleando el horno, para ello, fue necesario hacer distintas pruebas con cantidades diferentes de Bronce hasta determinar un exceso en uno de los ciclos de horno.

Se concluyó que la cantidad de Bronce máxima a aportar era el 85 % del peso de la pieza.

#### 4.2.3. PARAMETROS DEL CICLO DE HORNO: TIEMPOS Y TEMPERATURAS

Brevemente resumimos los procesos físico-químicos que se llevan a cabo en las diferentes etapas, que ya fueron explicados en el capítulo II y son:

*Combustión:* Ocurre durante la rampa de calentamiento hasta 1050°C. El polímero se consume ardiendo entre 450°C y 650°C.

*Sinterizado:* El proceso de sinterizado ocurre a 1050°C.

*Enfriamiento:* Una vez sinterizada la pieza, el grado de enfriamiento es de 180°C por hora. Si se realiza un enfriamiento más rápido a más de 180°C por hora, la bandeja de alúmina se agrieta debido a la contracción del material.

*Infiltración de bronce:* En esta etapa, el molde poroso (por la falta de aglutinante), es infiltrado con bronce para dar lugar a la pieza totalmente compacta. Se produce cuando el horno alcanza los 1050°C durante la infiltración. Mantener la pieza a esta temperatura de dos a cinco horas dependiendo del volumen del molde. Esta etapa coincide con la de llamada de sinterizado anteriormente.

*Enfriamiento:* Después de que la pieza sea infiltrada con bronce, el grado de enfriamiento es de 180°C por hora. El resultado del proceso de infiltración es la pieza totalmente compacta.

En todos los procesos se debe controlar la temperatura y atmósfera características durante el ciclo de calentamiento. El horno requiere una atmósfera únicamente de N<sub>2</sub> y para mantenerla el reglaje recomendado para el flujo de N<sub>2</sub> es de 5 l/min. Pero tras varias pruebas en las cuales las piezas que obteníamos tras la infiltración estaban oxidadas, fuimos aumentando la presión de N<sub>2</sub>, y así obtuvimos como óptima la de 20 l/min.

Hemos utilizado varias piezas de geometrías fijas y se han variado las condiciones de infiltración con las probetas indicadas en la figura IV-37.

Con estas pruebas se han definido los parámetros críticos del ciclo en horno como son la temperatura y tiempo de permanencia de cada etapa.

En paralelo, durante estas pruebas hemos optimizado el proceso de infiltración de piezas y de insertos pequeños, evitando la erosión que provoca la infiltración laminar del bronce en el proceso del horno, para ello se han colocado unas planchitas intermedias entre la pieza y las placas de infiltración, que pegadas con pegamento aseguran la estabilidad y al mismo tiempo la infiltración, consiguiendo perfectos resultados.

Tal como comentamos en los capítulos anteriores la infiltración del bronce determina la "resistencia", y también según como se realice se puede mejorar "el acabado" de la superficie y evitar la rugosidad, por lo tanto es un parámetro importante que hay que considerar y tener ajustado.

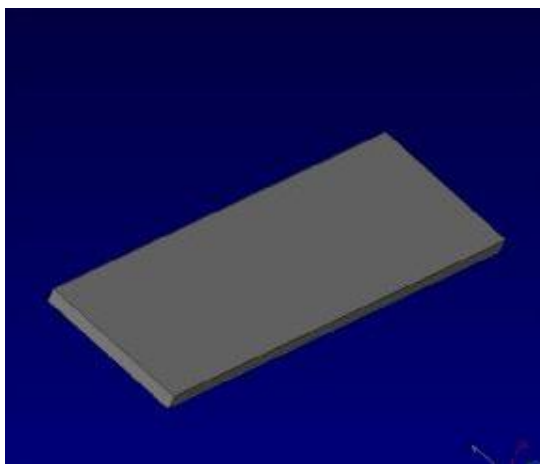


Figura IV-37. Fichero del diseño de probetas

Existe una rampa modelo teórico para la fase de sinterizado en el horno, donde la duración del proceso se encuentra prefijada en 22 horas, pero tras varias experiencias y observar que no se infiltraban las piezas aumentamos el tiempo de infiltración.

Sin embargo, al estudiar detenidamente el proceso realizando varias pruebas de sinterizado modificando dimensiones y geometrías, hemos determinado que el tiempo mínimo de esta fase es de 28 horas (para piezas pequeñas de hasta 100x100x20 mm) oscilando hasta 36 horas en el caso de una pieza de 200x200x50 mm (tamaño máximo permitido).

Esto es debido a que existen dos líneas de mantenimiento de temperatura, una entorno a los 550°C y otra entorno a los 1050°C. La primera línea es para estabilizar la fundición del bronce, por lo tanto, se ampliará en función del bronce a fundir. La segunda es para favorecer la infiltración. De la misma forma que el anterior, cuanto más cantidad de bronce, mayor será el tiempo empleado en infiltrar. Esta información se han obtenido después de desarrollar varios moldes a distintos rangos de temperatura y horas, que a continuación exponemos.

1º) Infiltración subiendo directamente hasta 1050°C y bajando tras unas 2 horas, y no se infiltra, se quedaban las piezas estropeadas (deformadas).

2º) Infiltración basándonos en la temperatura de fundición del Bronce (sobre 720°C), para así favorecer la infiltración de éste. Pero las piezas no se infiltran, también observamos que no se estropean pero no se pueden volver a utilizar para otra infiltración pues no llegan a infiltrarse en otras condiciones.

3º) Tras realizar otras experiencias con las variables de Temperatura y Tiempo en el rango (720-500°C), se obtiene que a 550°C sí hay infiltración, y así deducimos qué condiciones son las óptimas para este proceso.

Estas nuevas condiciones de trabajo se han plasmado en la figura IV-38.

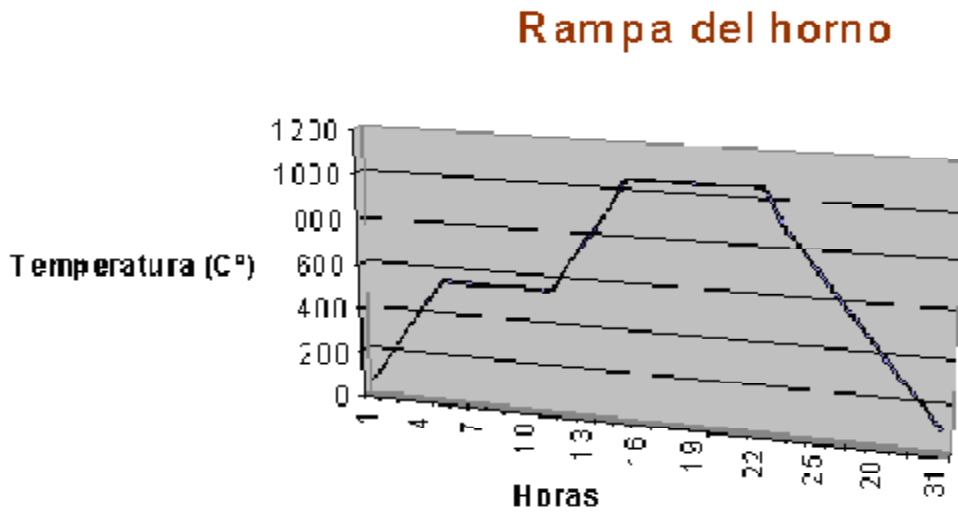


Figura IV-38. Rampa óptima de trabajo propuesta

A continuación en la tabla IV-9, resumimos en un cuadro los parámetros óptimos obtenidos con este procedimiento para el proceso de "infiltración", en función del tamaño de las piezas y de la geometría. Pieza pequeña es menor de 70mm, la mediana de 70 a 100 mm y la grande de 100 a 200 mm.

TAMAÑO	TEMPERATURA	TIEMPO	%BRONCE	GEOMETRÍA
Pequeño	A los 700°C se mantiene el calor durante unas 3 horas antes de subir a 1050°C, donde se mantiene otras 3 horas	28 horas	85% del peso en verde, no hay problemas para su infiltración	La principal limitación son las paredes de menos de 2 mm de espesor. Al infiltrar hay que valorar individualmente la zona de contacto, de ahí dependerá su colocación en máquina.
Mediano	A los 700°C se mantiene el calor durante unas 4 horas antes de subir a 1050°C, donde se mantiene otras 4 horas	30 horas	85% del peso en verde, puede no infiltrarse bien si no se mantiene el suficiente tiempo a 1050°	Además del anterior, problemas con superficies huecas provocan hundimientos no controlados cuando se consume el O <sub>2</sub>
Grande	A los 700°C se mantiene el calor durante unas 5 horas antes de subir a 1050°C, donde se mantiene otras 5 a 6 horas	De 32 a 34 horas	85% del peso en verde, puede no infiltrarse bien si no se mantiene el suficiente tiempo a 1050°C	Además, se complica la manipulación de largas superficies de poco espesor sin refuerzos, solucionándose algunas veces con soportes.

Tabla IV-9. Parámetros críticos proceso "infiltración" en función tamaño de las piezas

### 4.3. FABRICACIÓN DEL INSERTO

Este apartado consiste en adecuar la fabricación de las piezas metálicas que tienen función de inserto en moldes-prototipo.

Así, a los parámetros críticos obtenidos en apartados anteriores hay que introducir las variables que afectan al proceso de inyección de plásticos, y estas son:

- 1- Adecuación del Sinterizado para obtener moldes
- 2 - Definición de requisitos complementarios, portamoldes
- 3- Parámetros generales de inyección

#### 4.3.1. ADECUACIÓN DEL SINTERIZADO PARA OBTENER MOLDES

Para la elaboración de moldes se ha comprobado que es muy importante el posicionamiento de la pieza en la cama de sinterizado y por lo tanto la dirección de sinterizado del láser en las caras del molde.

Si se quiere obtener la cara superior de los insertos (macho y hembra) lo más plana posible, es preferible colocar las piezas en posición horizontal. Por contra, esta posición entorpece el desmoldeo de la pieza ya que quedan marcas en las paredes de la pieza a extraer marcas del laminado del sinterizado. Estas marcas además son continuas en toda la superficie de extracción y perpendiculares al ángulo de desmoldeo.

Sin embargo, posicionando los insertos (macho y hembra) en vertical, estas marcas de laminado quedan posicionadas en las cavidades del molde paralelas al ángulo de desmoldeo y por lo tanto favorables a la extracción de la pieza. Pero esta segunda opción tiene como inconveniente la obtención de peor calidad en las superficies de la pieza inyectada.

En el comportamiento en la inyección, consideramos que lo necesario es que no exista agarre de la pieza al ser inyectada. Y para evaluarlo hemos realizado pruebas de inyección de un molde con diferentes materiales (polietileno, EVA, ABS), y se ha concluido que dependiendo de unos u otros hay un agarre diferente y por lo tanto en algunos casos (como polietileno o EVA) no hay que tratar la pieza en taller, pulir, limar, etc., y en otros casos como ABS sí hay que pulirla para evitar los agarres. En la figura IV-39, mostramos uno de los moldes utilizados de los ejemplos para evaluar el agarre del material al ser inyectado y en la figura IV-40 se muestra la pieza obtenida.





Figura IV-39 y IV-40 Molde y pieza inyectada

#### 4.3.2. DEFINICIÓN DE REQUISITOS COMPLEMENTARIOS: PORTAMOLDES

A través de este apartado se ha pretendido generalizar el diseño de los insertos de forma que se optimice el desarrollo de los mismos y se reduzca el tiempo destinado al ajuste y acople del mismo al resto del molde. Para ello era interesante definir las dimensiones en las cuales se encuentran las condiciones de trabajo normales y hacer unos con medidas estándar sobre las cuales puedan adaptarse prácticamente la totalidad de los moldes a poder desarrollar.

Una vez determinados estos, el siguiente paso es desarrollar las placas portainsertos y establecer las condiciones de acople del inserto. Estas condiciones se definirán principalmente en el aspecto de medidas en los ejes X e Y, pero también será necesario definir los radios de ajuste (en las esquinas).

También se deberán definir otros datos tales como puntos de inyección, zonas de refrigeración, colocación de expulsores, etc., datos que inicialmente se prevé totalmente específicos de cada molde a desarrollar, pero que trataremos de estandarizar de forma que consigamos reducir los tiempos de desarrollo de los moldes.

Con los datos de las dimensiones máximas del crisol de horno y las experiencias realizadas hasta el momento, se ha generalizado el uso de dos medidas estándar que son:

- 1) Base portadora de 100x100 mm, desarrollada para piezas de inyección pequeñas (hasta 70 mm), la cual se acoplará a un portamoldes de aluminio que será atornillado a la placa del molde.

Cuando empleemos este formato, la base portadora deberá ajustarse a su portamoldes.

- 2) Base portadora de 160x160 mm, desarrollada para piezas de hasta 130 mm, la cual se acoplará a un portamoldes de aluminio que será atornillado a la placa del molde.

- 3) En caso de piezas que superen esta medida y que alcancen como máximo un tamaño de 190 mm (moldes sin pegado o soldado), el inserto se atornillará directamente a la placa sin necesidad de una base portadora empleando los alojamientos desarrollados para el acople de la base portadora.

En las figuras IV-41 y IV-42 se incluyen fotografías de estos portamoldes y molde base estándar obtenidos.



Figura IV-41. Portamoldes de dimensiones 160x160mm.



Figura IV-42. Portamoldes de dimensiones 100x100 mm.

Esta base se ha diseñado con la intención de mantener siempre el mismo plato de aluminio sobre el cual asentar los insertos metálicos a inyectar evitando la necesidad de construir cada vez un plato nuevo.

Para optimizar el molde en general hemos tomado como punto de inyección el centro de la base que coincide con la posición 80x80 mm dentro de la pieza. Una vez que se acople el inserto a la base se debe tener en cuenta esto.

Los expulsores a colocar en el molde también se han repartido de una forma estándar por el mismo motivo (emplear el mismo molde con el mismo portamoldes y con los insertos desarrollados en el ciclo de sinterizado).

Para moldes muy grandes (dimensiones superiores a 160 mm) el inserto se asienta directamente en la base del molde y se atornilla. El ajuste del molde es más fácil de esta forma porque no es necesario ajustar las cuatro caras de los laterales al plato predeterminados, y por lo tanto, pasa poco tiempo en el taller.

#### 4.3.3. PARAMETROS GENERALES DE INYECCIÓN

Para estandarizar la placa y la boquilla de inyección de acuerdo a las bases portadoras, se ha considerado que el punto de inyección debe encontrarse localizado siempre en el centro de la base de forma que el acople supone las modificaciones posibles sobre la misma. Para ello, cuando se desarrolle el inserto, hay que tener en cuenta estas características y por tanto, desarrollar el diseño adecuado.

En cuanto al sistema de refrigeración, se ha considerado que dos pasantes paralelos de un grosor de 10 mm separados una distancia de 50 mm nos permiten abarcar la totalidad de cualquier pieza de disparidad geométrica permitiendo el enfriamiento del molde y de la pieza con una calidad razonable.

En las zonas de expulsión, no pudo llegarse a un acuerdo estándar ya que depende muchísimo de la geometría de la pieza, ya que el expulsor se coloca para facilitar el desmoldeo de la misma y esto es muy particular.

Se ha acordado colocar en la parte central de la placa una superficie intercambiable, la cual marcará los expulsores de cada pieza.

En la tabla IV-10 se resumen los parámetros y el procedimiento para cada fase del proceso.

PROCESO	PARAMETROS CRÍTICOS	PROCEDIMIENTO
Sinterización	Parámetros Carga	Potencia: 24 W, espesor de capa 0,08mm, T° 120 °C con rampa a 90 °C
	Posición figura	Pieza colocada en máquina de forma que el laminado favorezca el desmoldeo
Infiltración	Tiempo, Colocación	Proceso de horno de 30, ambiente gaseoso de nitrógeno: 20 psi, bronce
	Cantidad de Bronce	85 % del peso de la pieza en "verde"
Adecuación a Inyección	Posición, Limpieza	Rugosidad de 50 micras, pulido por chorreado con corindon y posteriormente con fibra de vidrio
	Rugosidad, Pulido	En el caso de moldes, ajustes de caras para evitar el exceso de material en los bordes.

Tabla IV-10. Parámetros del proceso global obtención moldes-prototipo por SLS

Dada la importancia y novedad que supone el desarrollo de este procedimiento, consideramos que es el resultado más interesante y novedoso de los objetivos de esta tesis.

## 5. VALIDACIÓN DE MOLDES-PROTOTIPO: INYECCIÓN DE PIEZAS

En este apartado se comprueba la eficacia de este procedimiento, que ha sido expuesto anteriormente en los diferentes apartados del proceso que conlleva la fabricación del molde por SLS.

También a su vez determinaremos las limitaciones de la tecnología. Para comprobar la validez del método expuesto se realizan experiencias concretas obteniendo piezas inyectadas en diferentes materiales y se realizan con dos tipos de moldes que a continuación enunciamos:

1.- Inyección de molde sencillo en lo referente a la aplicación para obtener moldes sencillos, con pocas limitaciones dimensionales, y material a inyectar polipropileno.

2.- Molde complejo, formado por tres moldes que tienen que ajustarse entre si, y material a inyectar ABS.

### 5.1. MOLDE SENCILLO

Así, para evaluar las prestaciones en el proceso de inyección con un molde fabricado por SLS, se han realizado experiencias con piezas diseñadas con las características de formas, dimensiones, acabados, etc., que necesitamos comprobar al inyectar. Así, en la figura IV-43 se observan un molde sencillo y piezas inyectadas.

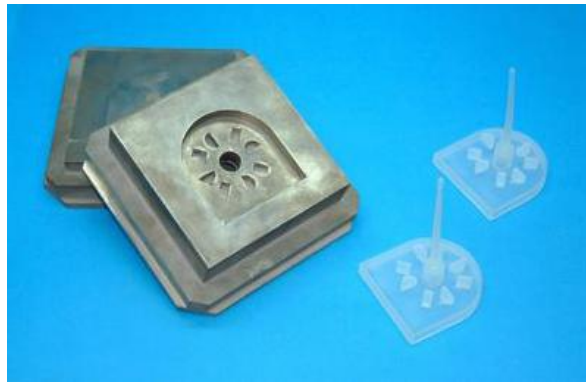


Figura IV-43. Molde y piezas en polipropileno

Con ellos hemos comprobado el procedimiento de operación descrito y también qué limitaciones hay para inyectar piezas con moldes fabricados con esta técnica, y son las siguientes:

- Se determina que es más favorable sinterizar el molde sin refrigeración, ni taladros.
- Hay que probar en la inyectora y retocar varias veces antes de obtener la pieza definitiva, tal y como se hace con los moldes fabricados con técnicas convencionales.

En estas pruebas se determina si hay que mejorar los expulsores, el pulido o algún defecto de fabricación. En la figura IV-44 se ve como las primeras inyectadas eran defectuosas y después solo mejorando el pulido se obtiene la pieza perfecta.



Figura IV-44. Piezas inyectadas

- Se puede utilizar cualquier material apto para inyección. Pero hay que tener presente que a medida que el material es más duro hay que mejorar los acabados posteriores al sinterizado.
- Para moldes de piezas con cotas muy pequeñas, inferiores a 1-2 mm es imposible fabricar el sinterizado con definición de esa cota, que dependiendo del espesor será de 1 o 2 mm.
- Las dimensiones máximas del molde están limitadas por el tamaño del crisol del horno, que es de 200x200 mm.

## 5.2. MOLDE COMPLEJO

En este apartado se exponen los resultados para un caso concreto de fabricación de un molde-prototipo para inyección de piezas en ABS, la figura escogida es bastante compleja y además tiene que encajar con otra fabricada con la misma tecnología, así este ejemplo nos permite comprobar la técnica estudiada en un caso de los más completos que nos podemos encontrar y por lo tanto podremos obtener conclusiones generales.

La metodología utilizada será como en apartados anteriores, se explican en orden cronológico las tareas realizadas y se complementan con las imágenes de las distintas fases del proceso, y que a continuación enunciamos:

### 1.- Diseño del molde.

Se dispone de una figura de una pieza en 3D.

Hay que plantear el diseño del molde, teniendo presente todas las limitaciones y ventajas del proceso que vamos a utilizar, también hay que considerar para el planteamiento del molde el

como vamos a inyectar, esto es como será el llenado, los expulsores, la refrigeración, etc. siempre considerando en global como se realiza el sinterizado, la infiltración y adecuación para la inyección.

También hay que determinar en el diseño, en que portamoldes pondremos la figura para definir qué dimensiones hay que utilizar, si queremos o no refrigeración; en este ejemplo se optó por no poner refrigeración, tampoco se han puesto huecos para expulsores, ni el punto de llenado.

## 2.- Sinterización de la pieza e infiltración en horno.

En esta fase se aplica lo indicado en el apartado 4, procedimiento para la fabricación de moldes-prototipo.

Así, se prepara la máquina, el material y los ficheros de la pieza, teniendo presente que hay que verificarlos con el diseño de la figura, pues según sea la definición de los ficheros se pueden cometer errores, como es en la triangulación de las superficies, los ángulos de desmoldeo, etc.

Se estudia qué posición interesa para sinterizar esta pieza, en concreto estas piezas se han fabricado en vertical. Se reescala la pieza y se sinteriza macho y hembra con la misma escala.

En la figura IV-45 observa la pieza sinterizada con un punto de inyección.



Figura IV-45. Molde-prototipo sinterizado

## 3.- Adecuación para la inyección.

En esta etapa se incluyen todos los tratamientos que se realizan a un molde-prototipo después de fabricar la pieza en SLS.

Así, en este caso y dada la complejidad de las figuras, hemos tenido que aplicar los posibles tratamientos que han sido descritos anteriormente y que enunciarnos a continuación en orden de cómo se han utilizado.

- Limpieza de las piezas al salir del horno, esto se ha realizado con la granalladora.
- Pulido con los utensilios habituales del taller de moldes, lijas, limas, etc.
- Colocación de expulsores y de entrada de material.

En las siguientes figuras se visualizan algunos de los tratamientos realizados a los moldes.

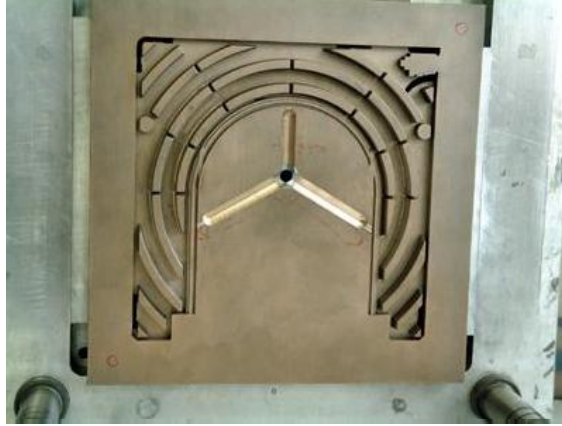


Figura IV-46. Molde con la colocación de las entradas de material

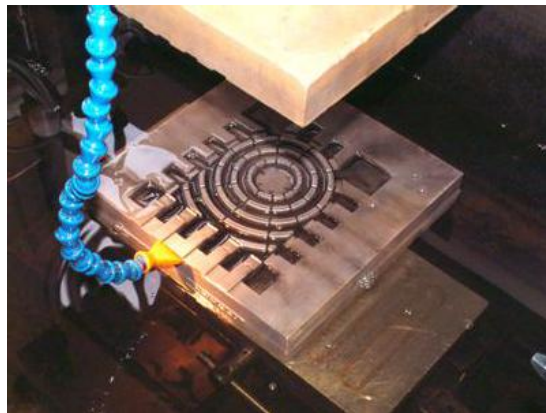


Figura IV-47. Erosión de uno de los moldes

#### 4.- Inyección de piezas

Cuando ya están probados y ajustados los moldes se procede a inyectar piezas definitivas. Y como en este caso hay que ensamblar tres figuras, otro de los ajustes posteriores al molde ha sido para que éstas funcionen adecuadamente.

En las figuras IV-48,IV-49 y IV-50 se ven las piezas inyectadas en diferentes materiales (EVA, y ABS) y en la figura IV-51 las piezas inyectadas en ABS y ensambladas.





Figuras IV-48 y IV-49. Piezas inyectadas en EVA y ABS respectivamente



Figura IV-50. Pieza inyectada en ABS



Figura IV-51. Conjunto de piezas en ABS

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

---

## CAPITULO V. CONCLUSIONES

En este capítulo se exponen por un lado las conclusiones obtenidas de acuerdo a los objetivos planteados para desarrollar de esta tesis, que son enumeradas secuencialmente, tal como se han obtenido, y por otro lado se exponen las conclusiones relevantes acerca de la metodología utilizada para realizar esta tesis y las oportunidades de mejora, pues a partir de los resultados obtenidos se han modificado los procedimientos de trabajo en la fabricación de prototipos y han surgido otras líneas de investigación.

### 1. CONCLUSIONES PRINCIPALES

A continuación enunciamos las conclusiones obtenidas:

1. Con el desarrollo de esta Tesis se ha concluido que la tecnología del Sinterizado Selectivo por Láser (SLS) es, en general, la más apropiada para la fabricación de juguetes.

También se han identificado las variables que afectan a los requisitos de calidad de las piezas fabricadas y se han obtenido los "parámetros críticos" de la tecnología, con objeto de validar los procesos que intervienen en la fabricación de juguetes.

Los parámetros críticos de Sinterizado y la relación con el producto final son:

- ESPESOR DE CAPA =>Tiempo de sinterizado, definición de detalles, homogeneidad en la pieza.
- POTENCIA LÁSER => Exactitud en dimensiones, resistencia.
- TEMPERATURA DE TRABAJO => Resistencia del material, acabados superficiales

2. Se ha validado la Tecnología SLS en los procesos de fabricación de piezas, "prototipos". En general es muy útil para la fabricación de "prototipos funcionales".

3. Se ha validado el uso en la fabricación de diferentes "tipos de moldes" necesarios para fabricar los juguetes, como son los de soplado, extrusión, rotomoldeo, termo conformado e inyección de zamac y plástico. Y se ha concluido que la tecnología de SLS:

*"No es eficaz para moldes de rotomoldeo, conformado de chapa, extrusión, y útiles de matricería\_"* pues en unos casos resulta muy cara y en otros casos su utilización presenta problemas técnicos.

*"Sí es viable técnicamente para moldes de soplado e inyección."*

4. Debido a las ventajas que aporta para la fabricación de moldes –prototipo de inyección y teniendo en cuenta que éste es el proceso más utilizado en la fabricación de juguetes, se ha investigado el proceso de obtención de moldes-prototipo y *"se ha obtenido una nueva*

*metodología y procedimiento de trabajo que permite mejorar el uso de esta técnica para la fabricación de moldes-prototipo”.*

En general de este nuevo procedimiento consiste en lo siguiente:

- Plantear el diseño del molde teniendo en cuenta el proceso de SLS y considerando que es un molde-prototipo y no de producción, por tanto hay que considerar la interrelación con los parámetros críticos de cada fase del SLS, como son: Sinterización, Infiltración, Planteamiento del Inserto.

- Se han mejorado los parámetros del proceso de SLS teóricos y propuesto otras condiciones de trabajo.

- Se determina que es más favorable sinterizar el molde sin refrigeración ni taladros.

- Tal y como se hace con los moldes fabricados por técnicas convencionales, hay que probar en la inyectora y retocar varias veces antes de obtener la pieza definitiva, y con estas pruebas se determina si hay que mejorar los expulsores, el pulido o algún defecto de fabricación.

## 2. CONCLUSIONES DE LA METODOLGIA UTILIZADA

La metodología utilizada se puede aplicar a varios de los procesos que intervienen en el desarrollo de un juguete como son la fabricación de “prototipos” y de “moldes-prototipo”, y en cada uno de ellos hay unas ventajas e inconvenientes o limitaciones de uso que se han identificado y valorado con el desarrollo de la presente tesis. Así, estas características, junto con la información recopilada y evaluada sobre los prototipos, nos permite disponer de datos objetivos para seleccionar en cada caso qué técnicas de prototipado hay que utilizar dependiendo de las características del producto final, y también nos permite contar con una herramienta para evaluar las nuevas tecnologías que van apareciendo en el mercado y las mejoras que aportan.

El desarrollo de este trabajo ha sido para la fabricación de juguetes, y como varios procesos de desarrollo de juguetes son comunes a los utilizados para otros productos industriales, parte de los resultados obtenidos y el método de trabajo se pueden extrapolar para ser utilizados en otros sectores como el de electrodomésticos, automoción y, en general, para los productos fabricados por inyección de plásticos, que es donde más utilidad tienen los prototipos.

En general, para todos los procesos indicados la utilidad de esta tecnología es mayor cuanto más complejo sea el diseño de la pieza o del molde, y también cuanto más se valore la rapidez en la obtención del prototipo.

Esta tecnología permite construir cualquier geometría, con las limitaciones dimensionales ya enunciadas, pues para la fabricación de una pieza mediante SLS sólo se necesita que exista el diseño en 3D; no es necesario tener presente la accesibilidad de las herramientas.

#### Prototipos: características y limitaciones.

- Tal como se obtiene la pieza de máquina se puede utilizar para visualizarla, comprobar las funciones del diseño y llevarla al taller para plantear el molde. El material es muy resistente y las tolerancias dimensionales adecuadas.

- Se puede mejorar el acabado de máquina de las piezas; es decir, se pueden pintar, pulir, cromar y, así, obtener un "prototipo estético".

- Hay una limitación dimensional: los tabiques de espesor menor de 0.7 mm no se obtienen con buena resolución, pero ello no supone inconveniente en la fabricación de juguetes.

- El tamaño de pieza que se puede obtener podría ser una limitación, pero está solucionada uniendo piezas fabricadas en diferentes sinterizaciones.

- En general, para todos los procesos indicados la utilidad de esta tecnología es mayor cuanto más complejo sea el diseño de la pieza o del molde, y también cuanto más se valore la rapidez en la obtención del prototipo.

#### Moldes-prototipo de inyección de plástico: características y limitaciones.

- Materiales muy apropiados y pueden utilizarse para inyectar diferentes plásticos y gran número de piezas.

- Tamaño máximo del molde 200x200 mm.

- Diseños de piezas con tabiques profundos y menores de 1.5 mm no se pueden fabricar.

- Para inyectar piezas con brillo espejo no es apropiada esta técnica, pues el material de acabado del molde, tal como se fabrica, es algo rugoso y habría que tratarlo con CN y pulido manual para conseguir el brillo espejo.

### 3. LINEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS

El desarrollo de esta Tesis está enmarcado en una línea de investigación de fabricación de prototipos en general.

A la vista de los datos aportados en la presente memoria sobre las necesidades en el proceso de fabricación de juguetes y de las tecnologías existentes en la actualidad, se deduce que hay varias investigaciones pendientes de realizar, sobre todo para el uso del prototipado rápido para la fabricación de "moldes-prototipo para inyección".

A partir del "Procedimiento de Operación" obtenido con esta Tesis se ha iniciado una serie de investigaciones encaminadas a resolver las limitaciones obtenidas y otras enfocadas a detectar las nuevas tecnologías y nuevos materiales y las mejoras que pueden aportar.

La primera línea de investigación que surge es a partir de la limitación más relevante, como es

el acabado superficial de las piezas. Se ha visto que las piezas sinterizadas presentan un aspecto rugoso y para utilizarlas como moldes hay que pulirlas.

El proceso de pulido es una tarea totalmente manual que requiere de muchas horas de dedicación. En el caso del sinterizado metálico, la rugosidad obtenida en el proceso no permite muchas veces obtener piezas inyectadas directamente sobre éstas.

Nos encontramos también con el inconveniente de que el material sinterizado no se encuentra perfectamente catalogado por lo que su tratamiento posterior (ya sea mediante mecanizados o electrodos) supone un alto desgaste de las herramientas empleadas para ello.

Así se pueden dividir las líneas de investigación futura en:

- 1.-Las investigaciones encaminadas a mejorar o automatizar el tratamiento superficial.
- 2.-Investigaciones sobre la posible aplicación de esta tecnología en otros procesos que intervienen en el desarrollo de juguetes.
- 3.-Investigación sobre nuevos materiales y sus aplicaciones.

Y, en general, investigaciones sobre las tecnologías que aparecen en el mercado y sus aplicaciones con objeto de incorporar las que presentan mejoras u ofrecen complementariedades al uso de SLS.

A continuación enunciamos las investigaciones concretas que están en curso:

- Obtención de Electroodos para Electroerosión mediante Sinterizado Selectivo por Láser para la fabricación de moldes-prototipo.  
Entidad financiadora: CICYT, DP-12001-0380-C02-1.
- Desarrollo de procesos para la obtención de moldes mediante sinterizado selectivo por láser (SLS).  
Entidad financiadora: CICYT-DPI 2002-02320
- A knowledge-based manufacturing system, established by integrating Rapid Manufacturing, iST and Material Science to improve the Quality of Life of European Citizens through Custom-Fit products - Custom-Fit  
Entidad financiadora: VI PM Comisión Europea. NMP2-CT-2004-507437
- Development of an innovative, modular Rapid Prototyping System for rigid and flexible models .  
Entidad financiadora: VI PM Comisión Europea. NMP2-CT-2004-508436
- Nuevas tecnologías para pulido de materiales de acero.  
Entidad financiadora: MEC – PROFIT CIT-020600-2005-19
- Métodos avanzados para el acabado de piezas realizadas por aportación por láser (X-MAPAL)

Entidad financiadora: MEC – PETRI 95-0988-CT-02

- Desarrollo de nuevos sistemas de fabricación flexible y rapid manufacturing en la industria de productos infantiles

Entidad financiadora: MITYC - PROFIT. Ref. FIT020600-2006-159

CAPÍTULO 6

BIBLIOGRAFIA

---



## CAPITULO VI. BIBLIOGRAFÍA

### 1. BIBLIGRAFÍA CITADA

- [1] Asociación Investigación del Juguete. *Integration of New Technologies in the Design of Toys*, U.E.Brite-Euram II CRAFT. Ref.: CR-1091-9. (1991-1993)
- [2] Asociación Investigación del Juguete. *Fabricación de prototipos por colada de metales de bajo punto de fusión*. MINER. PATI Ref.: 10/96. 1996
- [3] Asociación Investigación del Juguete. *Empleo de la proyección Metálica en la fabricación de moldes para rotomoldeo*. MINER. PATI. Ref.: 1/93. 1993
- [4] Asociación Investigación del Juguete. *Optimización del proceso de fabricación rápida de moldes de inyección mediante proyección metálica de alta velocidad (HVOF)*. CICYT. PETRI. Ref.: 95-0219-CT. (1995-1997)
- [5] Asociación Investigación del Juguete. *Application of new technologies in the field of CAD/CAM and rapid prototyping in the toy sector*. (TOYSCIM). U.E. ESPRIT. Ref.: EP-23932. (1996-1998)
- [6] Asociación Española de Fabricantes de Juguetes. *Informes del sector del juguete*. AFJ. 1999, 2001 y 2003.
- [7] Ogokiewicz, R.M. *Termoplásticos: Influencia de los procesos de transformación en sus propiedades*. Instituto de Plásticos y Caucho 1972
- [8] Hellerich, W., Harsch, G. y Haenle, S. *Guía de materiales plásticos. Propiedades, ensayos y parámetros*. Hanser. 1992.
- [9] Avedaño, Luis. *Iniciación a los plásticos*. Centro español de plásticos. 1992.
- [10] Hensen, F. *Plastics extrusion technology*. Hanser. 1988.
- [11] Rados Carpio, M.A. y De María Ruiz, M.R. *Ingeniería de los materiales plásticos*. Díaz de Santos, S.A. 1988.
- [12] Kalpakjan, S. *Manufacturing processes for engineering materials*. Addison-Wesley. 1992.
- [13] Meysenburg, C.M. *Tecnología de plásticos para ingenieros*. Urmo. 1982.
- [14] Malloy, R.A. *Plastics part design for injection moulding*. Hanser Publishers. 1994.
- [15] Bodini, G. y Carchi, F. *Moldes y máquinas de inyección para la transformación de plásticos*. Mc Graw Hill. 1992.
- [16] Lee, N. C. *Understanding blow molding*. Hanser. 2000
- [17] Blather, J. E., U.S. Patent 473.901. 1892.
- [18] Matsubara, K., U.S. Patent 3.734.372. 1973
- [19] DiMatteo, P. L., U.S. Patent 3.932.923. 1976
- [20] Nakagawa, T. et al.. *Blanking tool by stacked bainite steel plates*. *Press Technique*, 1979, p.93-101.

- [21] Morioka, I., U.S. Patent 2. 015.457.1935
- [22] Swainson, W. K. ,U.S. Patent 4.041.476.1977
- [23] Ciraud, P. A. FRG Disclosure Publication 2.263.777. 1972
- [24] Herbert, A. J. Solid object generation. *J. Appl. Photo. Eng.* August 1982, vol 8, n°4, p 185-188.
- [25] Frank, D., and G. M. Fadel. Preferred direction of build for rapid prototyping processes, 5th Intl. Conf. on Rapid Prototyping. Dayton, OH. 1994.
- [26] Ganesan, K., and G. M. Fadel. *Hollowing rapid prototyping parts using offsetting techniques.* 5th Intl. Conf. On Rapid Prototyping. Dayton, OH. Junio 1994.
- [27] Jamieson, R., and H. Hacker. Direct slicing of CAD models for rapid prototyping. *Rapid Prototyping Journal*, 1995, vol 1, n°2, p 4-12.
- [28] Sachs E., S. Allen, M. Cima, E. Wylonis, and H. Guo. *Production of injection molding tooling with conformal cooling channels using the three dimensional printing process.* Solid Freeform Fabrication Symposium. Austin, TX. 1995. vol 40, n°5, p 1232-1247.
- [29] Wohlers, T.. *Rapid prototyping & tooling state of the industry: worldwide progress report.* Wohlers Associates. 1999.
- [30] 3D Systems. *Stereolithography Interface Specification.* 3D Systems. 1988
- [31] 3D Systems. *SLC File Specification.* 3D Systems. 1994
- [32] D.Kochan, *Solid freeform Manufacturing. Advanced Rapid Prototyping. in Manufacturing Research Tecnology.* Elsevier Publishers Vol 19, Netherlands ,1993.
- [33] DTM™ Corporation. *Guide to Materials: RapidSteel™ 2.0 Used to produce RapidTool LR Mold Inserts.* DTM™ Corporation. September 1998.
- [34] DTM™ Corporation , *Guide to Materials: Copper Polyamide*, DTM™ Corporation. July 1998.
- [35] MCP Iberia. *Técnica de colada bajo vacio*, MCP Iberia. 1995
- [36] DTM™ Corporation , *The Sinterisation™ System 2500 User´s Guide.* DTM™ Corporation. June 1997.
- [37] DTM™ Corporation, *SLS™ Geometry Tools Guide.* DTM™ Corporation. September 1996.
- [38] DTM™ Corporation, *Manuales de operación de maquinas DTM 2500 y 2500plus.* 1999 y 2000.
- [39] Valero R. *Prototipado Rápido: Sinterizado Selectivo por Láser. Plásticos Modernos.* Octubre 2000, p 36-38.
- [40] CARBOLITE™. *Furnace Operating and Maintenance Instructions.* CARBOLITE™. 1995
- [41] DTM™ Corporation , *Guide to Materials for the Nylon Compounds: Protoform™ Composite (LNC-7000), Nylon (LN-4010), Fine Nylon (LNF 5000)*, DTM™ Corporation. Septiembre 1996.
- [42] DTM™ Corporation, *Sinterisation™ System: Duraform™ GF Release Notes.* DTM™ Corporation. Octubre 1998.
- [43] DTM™ Corporation , *Guide to Materials: Dupont Somos™ 201 Solid Omaging Powder.* DTM™ Corporation. Febrero 1998.
- [44] Malloy, R.A., *Plastics part design for injection moulding*, Hanser Publishers. 1994.
- [45] Gianni Bodini y Franco Carchi Pesan, *Moldes y maquinas de Inyección para la transformación de plásticos*, Mc Graw Huill. 1992

- [46] Daniel Frenkler y Henryk Zawistowski ,*Hot runners in injection moulds*,Rapra.2001
- [47] Greif , Michaeli , Kaufmann y Vossebürger *Tecnología de los plásticos*. Hanser publishers. 1992.
- [48] Kalpakjan, S., *Manufacturing processes for engineering materials*, Addison-Wesley. 1992.
- [49] Hellerich, W., Harsch, G. y Haenle, S. *Guía de materiales plásticos. Propiedades, ensayos y parámetros*. Hanser. 1992.

## 2. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- [1] Mcalea Kevin,P. et al.WO 97/29148.*Polymer powder of controlled particle size distribution*. 1977.
- [2] Marcus Harris,L. Et al.US patent 5.147.587: *Method for producing parts and moulds using composite ceramics materials*. 1992.
- [3] Sachs Emanuel ,M.et al.US patent 5.204.055.*Three dimensional printing techniques*. 1993.
- [4] Grolman Cory,P. et al.USpatent 5.458.825: *Utilization of blow molding tooling manufactured by stereolithography for rapid container prototyping*.1995
- [5] Barlow Joel,W. Et al.US patent WO96/14.973. *Mould useful for injection moulding of plastics, and methods of production and uses thereof*. 1996.
- [6] Rabinovich Joshua,E.US patent 5.578.227. *Rapid prototyping system*. 1996.
- [7] Feygin, M.WO 90/03893. *Method of forming articles using thermosetting materials*.1997
- [8] German Randal,M. et al.WO9954075.*Powdered material rapid production tooling method and objects produced therefrom* .1999
- [9] Behi ,M. Et al.U.S.6.056.915.*Rapid manufacture of metal and ceramic toolings*.2000.
- [10] Mchugh Kevin, M.WO.0196049.*Rapid solidification processing system for producing moulds, dies and related tooling*". 2001
- [11] Billet Romain, L.. et al.WO.0194057.*Rapid reproduction of moulds and mold components*. 2001

## CAPITULO 7

### LISTADO DE ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

## LISTADO DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

2D	Dos dimensiones
3D	Tres dimensiones
3DP	Three-dimensional Printing (MIT). Impresión en tres dimensiones
AFPR	Association Française de Prototypage Rapide (France). Asociación Francesa de Prototipado Rápido
AI	Artificial intelligence. Inteligencia artificial
AOM	Acousto-optic modulator. Modulador óptico-acústico
ABS	Acrylnitril-butadiene- styrene. Material plástico acrilonitrilo-butadieno-estireno
BPM	Ballistic Particle Manufacturing. Fabricación por proyección balística
CAD	Computer-assisted design. Diseño asistido por ordenador
CAE	Computer-assisted engineering. Ingeniería asistida por ordenador
CAM	Computer-assisted manufacturing/machining. Fabricación asistida por ordenador
CLI	Common layer interface. Formato de ficheros alternativos a STL
CMM	Coordinate measurement machine. Máquina de medida por coordenadas
CNC	Computer numerical control. Ordenador de control numérico
DFE	Data Front End. Programa de software de Cubital
Direct AIM	Técnica de construcción de moldes mediante estereolitografía
DSPC	Direct Shell Production Casting. Fabricación por recubrimiento fundido
DTM	Desktop manufacturing. Empresa fabricante de maquinaria, base en Austin U.S.
DXF	Formato de ficheros para Autocad
ECM	Electrochemical machining. Máquina electroquímica
EDI	Electronic data interchange. Intercambio de datos electrónicos
EMI	Electromagnetic interference. Interferencia electromagnética
EOS	Electro-Optical Systems. Fabricante de maquinaria en Alemania
EVA	Etilen-Vinil-Acetic. Material plástico.
FDM	Fused Deposition Modeling (Stratasys). Proceso de deposición hilo fundido
FEA	Finite element analysis. Análisis por elementos finitos
FEM	Finite element mesh. Malla de elementos finitos
FV	Fibra de vidrio
HPGL	Hewlett-Packard Graphics Language. Formato de ficheros
I-DEAS	CAD software de SDRC in Milford. Programa de diseño
IGES	Initial graphics exchange specification. Formato de ficheros de diseño
ISDN	Integrated services digital network. Red digital de servicios integrados (RDSI)

ISO	International Standards Organization. Organización internacional de normas
JARI	Japan Association of Rapid Prototyping Industries. Asociación japonesa de industrias de prototipado rápido
LOM	Laminated Object Manufacturing, (Helisys). Fabricación laminada de objetos
MAGICS	Software, marca registrada de Materialise N.V.
MJS	Multiphase jet solidification (IFAM/IPA). Fabricación por tobera
MSM	Multiphase multijet solidification. Fabricación por multitobera
NC	Numeric control. Control numérico
FOCET	Desviación numérica
PA	Poliamida
PC	Policarbonato
PP	Polipropileno
PS	Polystyrene. Poliestireno
RIM	Reaction injection molding. Inyección a baja presión
RP	Rapid prototyping. Prototipado rápido
RT	Rapid tooling. Fabricación de moldes y utillajes rápidos
SAI	Sistema de alimentación interrumpida
SAHP	Selective Adhesive and Hot Press Process (Kira). Proceso de adhesión selectiva
SCS	Solid Creation System (Sony). Sistema de creación de sólido
SDM	Shape deposition modelling/manufacturing
SET	Formato de ficheros
SGC	Solid ground curing (Cubital). Proceso de fraguado sólido
SL	Stereolithography. Estereolitografía
SLA	Stereolithography Apparatus (3D Systems). Equipo de estereolitografía
SLS	Selective laser sintering (DTM Corp.). Sinterizado selectivo por láser
SOUP	Solid Object Ultraviolet (laser) Plotter (CMET). Fabricación por curado con ultravioleta
STEP	Standard for the exchange of product model data. Formato de ficheros
STL	Stereolithography Text Language. Formato de ficheros de diseño
VR	Virtual reality
VRML	Virtual reality modelling language
WAN	Wide area network
WWW	Worldwide web

## RESUMEN

El sector del juguete efectúa cada temporada grandes esfuerzos en el lanzamiento de nuevos productos. El fabricante cada vez se apoya más en la utilización de prototipos que le permitan presentar el producto en ferias y conocer los factores de éxito del diseño con un coste menor, a la vez que comprobar la funcionalidad y características técnicas del modelo. Sin embargo, la obtención del prototipo y del molde es un proceso que, a menudo es costoso, largo (1-2 meses) y muchas veces es preciso efectuar retoques en el molde obtenido.

La aparición de las tecnologías de prototipado rápido como el Sinterizado Selectivo por Laser, ha reducido en gran medida la problemática asociada a la fabricación de los prototipos y moldes-prototipo. Sin embargo, la metodología de trabajo asociada a dicha tecnología, en concreto para fabricación de moldes (Rapid Tooling), no se encuentra optimizada y, en consecuencia no está aprovechada por el sector. La investigación derivada de la presente Tesis tiene como objetivo el de seleccionar cual es la técnica más apropiada y en esta, investigar, desarrollar, sistematizar y, finalmente, optimizar la metodología de desarrollo de moldes-prototipos, solucionando las limitaciones que hacen que no se pueda utilizar con resultados aceptables.

Se ha realizado un estudio sobre las necesidades del sector del juguete, su situación tecnológica, su capacidad para incorporar nuevas tecnologías. También se han estudiado las técnicas de prototipado rápido y se han clasificado según su utilidad para fabricar prototipos y moldes-prototipo. Se han expuesto las ventajas y limitaciones de ellas, y se deduce que la más útil para el sector del juguete es el Sinterizado Selectivo por Láser (SLS).

Se estudian los parámetros críticos del proceso, el fundamento de la tecnología y su relación con la fabricación de prototipos para juguetes. Se han separado, clasificado y optimizado las características requeridas para obtener prototipos de plásticos y las de obtener prototipos metálicos y moldes-prototipos, y así se ha estudiado su relación con las variables del proceso de SLS como son la sinterización y la infiltración.

Las variables seleccionadas que limitan los requisitos en la obtención de un prototipo en la fabricación de juguetes son: precisión, tamaño de la pieza y acabado superficial. Así, relacionando estas variables con el proceso de SLS se han obtenido los parámetros críticos y limitaciones para cada proceso de fabricación de prototipos.

También se ha utilizado esta tecnología para comprobar su uso en la fabricación de diferentes tipos de moldes utilizados para obtener juguetes, y estos son: moldeo rotacional, extrusión, conformado, soplado, inyección de zamac y de plástico. Siendo en la fabricación de moldes-prototipo de inyección donde más ventajas aporta. Así analizando los resultados, las ventajas, limitaciones y teniendo presente que la mayoría de los juguetes se fabrican por inyección, es por lo que se considera necesario investigar sobre la elaboración moldes-prototipo para inyección.

Para esta investigación se ha tenido en cuenta la relación de las características del sinterizado en conjunto con los requisitos del proceso de inyección y los moldes. Y de este estudio detallado se ha obtenido un procedimiento de trabajo o metodología que permite seleccionar los parámetros críticos a tener en cuenta dependiendo de la pieza que se desea fabricar.

Con objeto de demostrar la utilidad en casos reales de esta nueva metodología se ha aplicado para la fabricación de piezas sencillas y complejas, tal como se ha expuesto en los resultados de esta Tesis.



## ABSTRACT

Each season the toy sector makes great efforts in the launch of new products. More and more, manufacturers rely on the use of prototypes which permit to present the product in trade exhibitions and know the elements of success of the design at a lower cost, and at the same time, this will permit to check the functional nature and technical characteristics of the model. Nevertheless, the construction of the prototype and the mould is a process that is usually expensive, long (1-2 months) and, many times, it is necessary to carry out finishing touches on the obtained mould.

The introduction of rapid prototyping technologies as Selective Laser Sintering, has reduced to a great extent the problems associated to prototypes and inserts manufacture. Nevertheless, the working methodology associated to this technology, specifically to the manufacture of inserts (Rapid tooling), is not optimized, and consistently, the sector is not taking advantage of it. The aim of the research derived of this Thesis is to select the most appropriate technique and then develop, sistematize and optimize the methodology of development of inserts by solving the limitations that prevent the companies using this technology with good results.

A study on the needs of the toy sector, its technological situation and its ability to incorporate new technologies has been carried out. The techniques of rapid prototyping have also been studied and clasified according to their usefulness to manufacture prototypes and inserts. Advantages and disadvantages have been set out, and it is deduced that the most useful technique for the toy sector is the Selective Laser Sintering (SLS).

The critical parameters of this process, the basis of the technology and its relation with the manufacture of prototypes for toys have been studied. The characteristics required to obtain plastic prototypes, metal prototypes and inserts have been divided, classified and optimized, and in this way, their relation with the variables of the SLS process as sinterization and infiltration have been studied.

The selected variables that limit the requirements of prototyping in the production of toys are accuracy, size of the piece and surface finishing. These variables have been linked to the SLS process, and the critical parameters and limitations for each process of prototyping have been obtained.

The usefulness of this technology in the manufacture of different types of moulds for toys production has also been checked: rotational moulding, extrusion, blowing, zamack and plastic injection; and it is in the manufacture of injection inserts where more advantages have been noticed. In this way, after an analysis of results, advantages, limitations, and having in mind that most of toys are produced by injection processes, it is considered necessary to research on the manufacture of inserts for injection.

In this research, the relation of the characteristics of sintering together with the requirements of the injection process and moulds have been taken into account. And from this detailed study a working procedure or methodology has been obtained, which permits to select the critical parameters to be considered attending to the piece to be manufactured.

With the aim of showing the usefulness of this new methodology in real cases, it has been applied to the production of simple and complex pieces, as stated in the results of this Thesis.

## RESUM

El sector del joguet efectúa cada temporada grans esforços en el llançament de nous productes. Cada vegada el fabricant es recolça més en la utilització de prototips que li permeten presentar el producte en fires i conèixer els factors d'èxit del disseny amb un cost menor, a la mateixa vegada que comprova la funcionalitat i les característiques tècniques del model. Així i tot, l'obtenció del prototip i del motle és un procés que sovint es costós i llarg (1-2 mesos), i moltes vegades és necessari efectuar retocs en el motle obtingut.

L'aparició de les tecnologies de prototipatge ràpid com el Sinteritzat Selectiu per Làser ha reduït en gran mesura la problemàtica associada a la fabricació del prototips i motles-prototip. No obstant això, la metodologia de treball associada a aquesta tecnologia, concretament per a la fabricació de motles (Rapid Tooling), no es troba optimitzada i en conseqüència no és aprofitada pel sector. La investigació derivada de la present Tesi té l'objectiu de seleccionar quina és la tècnica més apropiada, i dins d'aquesta, investigar, desenvolupar, sistematitzar i, finalment, optimitzar la metodologia de desenvolupament de motles-prototip, de manera que es solucionen les limitacions que fan que no es puga utilitzar amb resultats acceptables.

S'ha realitzat un estudi sobre les necessitats del sector del joguet, la seua situació tecnològica, i la seua capacitat per a incorporar noves tecnologies. També s'han estudiat les tècniques de prototipatge ràpid i s'han classificat segons la seua utilitat per a fabricar prototips i motles-prototip. Després d'exposar els seus avantatges i les seues limitacions s'ha deduït que la més útil per al sector del joguet és el Sinteritzat Selectiu per Làser (SLS).

S'han estudiat els paràmetres crítics del procés, el fonament de la tecnologia i la seua relació amb la fabricació de prototips per a joguets. S'han separat, classificat i optimitzat les característiques requerides per a obtenir prototips de plàstics, prototips metàl·lics i motles-prototips, i d'aquesta manera s'ha estudiat la seua relació amb les variables del procés de SLS com són la sinterització i la infiltració. Les variables seleccionades que limiten els requisits en l'obtenció d'un prototip en la fabricació de joguets són: precisió, grandària de la peça i acabat superficial. Relacionant així aquestes variables amb el procés de SLS s'han obtingut els paràmetres crítics i les limitacions per a cada procés de fabricació de prototips.

També s'ha emprat aquesta tecnologia per a comprobar el seu ús en la fabricació de diferents tipus de motles utilitzats per a obtenir joguets. Aquests motles són els emprats en les tècniques de l'emmotllament rotacional, l'extrusió, la conformació, el bufatge, i la injecció de Zamak i de plàstic. S'ha deduït que és en la fabricació de motles-prototip d'injecció on esta tecnologia més avantatges aporta. D'aquesta manera, després d'analitzar els resultats, els avantatges i les limitacions, i tenint in compte que la majoria dels joguets es fabriquen per injecció, es considera necessari investigar sobre l'elaboració de motles-prototip per a la injecció.

Per a aquesta investigació s'ha tingut en compte la relació de les característiques del sinteritzat en conjunt amb els requisits del procés d'injecció i els motles. I d'aquest estudi detallat s'ha obtingut un procediment de treball o metodologia que permet seleccionar el paràmetres crítics que s'han de tenir en compte depenent de la peça que es desitja fabricar.

Amb l'objectiu de demostrar la utilitat d'aquesta nova tecnologia en casos reals, s'ha aplicat per a la fabricació de peces senzilles i complexes, tal com s'ha exposat en els resultats d'aquesta Tesi.