REVISTA Universidad EAFIT

Universidad Eafit
Universidad Eafit
revista@eafit.edu.co
ISSN (Versión impresa): 0120-341X
COLOMBIA

2005
Carlos Arturo Rodríguez Arroyave / Daniel Felipe Muñoz Toro
APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE RAPID TOOLING PARA LA FABRICACIÓN DE PROTOTIPOS DE EMBUTICIÓN
Universidad Eafit, abril-junio, año/vol. 41, número 138
Universidad Eafit
Medellìn, Colombia
pp. 96-109

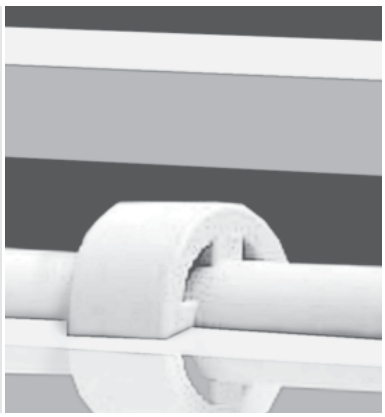
Red ALyC
LA HEMEROTECA CIENTÍFICA EN LÍNEA EN CIENCIAS SOCIALES
www.redalyc.org

REVISTA Universidad EAFIT
Vol. 41. No. 138. 2005. pp. 96-109

Aplicación de técnicas de Rapid Tooling para la fabricación de Prototipos de Embutición

Carlos Arturo Rodríguez Arroyave
Especialista en Procesos de Transformación del Plástico y del Caucho. Universidad EAFIT-ICIPC. Profesor del Departamento de Ingeniería de Producción de la Universidad EAFIT.
carodri@eafit.edu.co

Daniel Felipe Muñoz Toro
Ingeniero de Producción, egresado de la Universidad EAFIT.
dmunozto@eafit.edu.co



Recepción: 06 de junio de 2004 | Aprobación: 10 de octubre de 2004

Resumen

Este artículo realiza una síntesis del proyecto: "Aplicación de Técnicas de *Rapid Tooling* para la Fabricación de Prototipos de Embutición", en el cual se presenta una posible solución para la fabricación rápida y económica de prototipos de embutición en lámina metálica para Industrias HACEB S.A.[1], mediante la documentación, el estudio y experimentación de técnicas basadas en el concepto *Rapid Tooling*[2] aplicables para este fin.

En el texto se presenta inicialmente la problemática actual en el desarrollo de prototipos en el ámbito mundial y en Colombia, luego se describe la tecnología *Rapid Tooling*, las técnicas aplicables para la obtención de herramientas para la embutición de lámina metálica; por último se describe el método seleccionado por Industrias HACEB S.A. para construir la herramienta experimental.

Palabras Clave

Rapid Tooling
Prototipos
Lámina Metálica
Embutición
Fabricación Rápida de Herramental

[1] Industria manufacturera líder del sector de electrodomésticos de la Ciudad de Medellín, Colombia.

[2] *Rapid Tooling*: Técnicas modernas para la fabricación rápida de herramentales (Troqueles, moldes) para la producción de prototipos, pre-series o series de bajos volúmenes.

Use of Rapid tooling techniques for the fabrication of forming prototypes

Abstract

This article summarizes the project "Applications of Rapid Tooling Techniques for the Manufacturing of Forming Prototypes", which poses a possible solution for the fast and economical production of sheet metal forming prototypes in Industrias HACEB S.A[1]. through the documentation, study, and experimentation, with techniques based on the concept of *Rapid Tooling*[2] applicable for this purpose.

The article begins approaching the current problems for the development of prototypes at a worldwide level and in Colombia. It provides a basic description of **Rapid Tooling technology**, and gives a brief description of the techniques applicable to build tools for sheet metal forming fabrication. Finally it describes the method selected by the company to build the experimental tool and presents the conclusions of the project.

Key Words

Rapid Tooling
Prototypes
Sheet Metal
Forming

Introducción

El proceso de globalización al cual se ha enfrentado el país a partir de la década de los noventa ha debilitado notoriamente a las empresas nacionales, las cuales se encuentran compitiendo en desigualdad de condiciones económicas, tecnológicas y de recurso humano.

Esta crisis se ha extendido a todos los sectores de la economía nacional, especialmente en sectores como el automotor y los electrodomésticos, donde la innovación constante por parte de las multinacionales extranjeras, se traduce en una notable reducción del ciclo de vida del producto, lo que obliga a las industrias nacionales a optimizar sus procesos para desarrollar nuevos productos en períodos de tiempo mucho más cortos y con el menor costo posible.

El sector de los electrodomésticos es uno de los más competidos no sólo en Colombia sino en el mundo, concretamente en el caso de Industrias HACEB S.A. compañía líder en el sector de electrodomésticos en Colombia, el proceso de desarrollo de un nuevo producto toma un periodo de tiempo muy largo, en gran parte debido a la dificultad de obtención de prototipos en plástico o en lámina metálica y su respectiva aprobación. Es por esta situación que deben diseñarse estrategias enfocadas a disminuir y mejorar, el proceso de desarrollo de un nuevo producto en estas compañías, pues además este caso se presenta en la mayoría de las industrias nacionales de este sector.

El presente artículo presenta una solución para la fabricación rápida y económica de prototipos de embutición en lámina metálica, mediante la documentación, estudio y experimentación con técnicas para la fabricación rápida de herramental, conocidas como *Rapid Tooling*, con el fin de disminuir el tiempo y el costo para el desarrollo de nuevos productos.

1. Planteamiento del problema

Los principales inconvenientes identificados dentro de este tipo de industrias durante el proceso de desarrollo de un nuevo producto que involucre nuevos componentes de embutición en lámina metálica son:

[1] Manufacturing company leader in the home appliances sector of the city of Medellin, Colombia.

[2] *Rapid Tooling*: Modern techniques for the fast fabrication of tools (molds, etc.) for the production of prototypes, pre-series or series in low volumes.

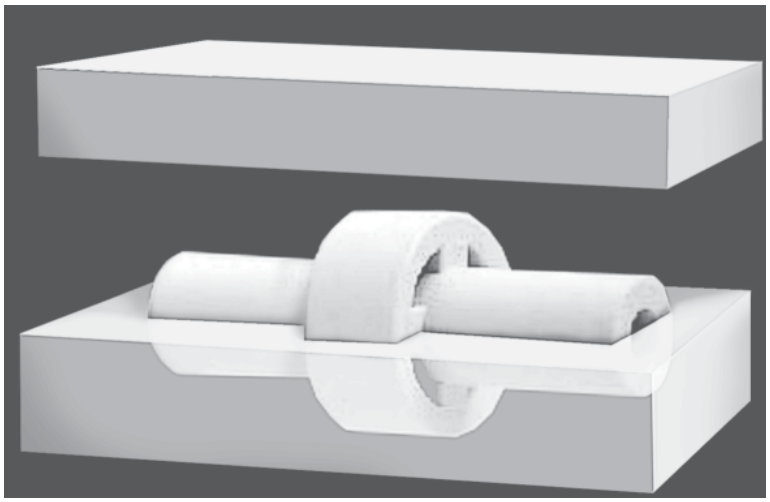
- El proceso de obtención de prototipos no es el adecuado, puesto que normalmente no se parte de archivos generados en programas CAD, sino que se parte de planos manuales para la construcción de modelos en el taller de prototipos.

- La fabricación manual de prototipos de embutición en lámina metálica, no garantiza ni las formas, ni las tolerancias, por lo cual el prototipo generalmente tiene mala apariencia y presenta problemas al momento del ensamble.

- La mala apariencia del prototipo afecta el proceso de elaboración de planos provisionales, dado que las piezas deben ser rediseñadas varias veces, para cumplir con las normas y estándares de la compañía.

- Generalmente en los planos provisionales, no se detectan problemas en el proceso de fabricación, por lo cual, en el proceso de diseño de herramental para producción de nuevos componentes, se identifican más problemas que generan nuevos rediseños.

- Los prototipos están constantemente sometidos a re-diseños incluso en etapas tan avanzadas como la construcción de herramental, esta situación provoca que las herramientas que se encuentran recién terminadas, o que se están construyendo deban modificarse, incurriendo en mayores costos o en posibles pérdidas si éstas no pueden ajustarse a los cambios requeridos.



Las situaciones anteriormente descritas generan grandes retrasos en la validación de nuevos productos o prototipos, además de considerables costos de fabricación y oportunidad al no salir el producto rápidamente al mercado.

2. Definición de la tecnología

El *Rapid Tooling* o Fabricación Rápida de Herramental es un proceso basado en varias técnicas de Prototipaje Rápido, mediante el cual se pretende obtener herramientas funcionales para bajas series de producción, en cortos periodos de tiempo y a menor costo en comparación con los métodos tradicionales, estas herramientas son utilizadas para la producción de prototipos en materiales como: plástico, metal, siliconas, entre otros. (Plantá,1999, p.1).

Esta técnica se sustenta fundamentalmente en:

- *Rapid Prototyping* (Prototipaje Rápido).
- CAD/CAM en 3D, generalmente modelado sólido.
- Integración de CAD/CAM y CNC.
- Evolución de las técnicas de mecanizado por desprendimiento de viruta (Maquinado a alta velocidad, láser, etc.).
- Nuevas técnicas de planeación y gestión del diseño y la producción.

El *Rapid Tooling* se podría clasificar, de una manera básica, a partir de tres posibles conceptos:

- Según el método de definición de la figura a construir

  Concepto "Piel"

  Concepto " Sólido"

- Según las etapas necesarias de creación de la figura.

  Métodos Simples

  Métodos Directos

  Métodos Indirectos

  Métodos Múltiples

- Según el material de las piezas obtenidas

  Material y proceso definitivo

  Material no definitivo en proceso diferente

Aunque el concepto *Rapid Tooling* toma fuerza a nivel mundial, debe tenerse en cuenta que es una tecnología en proceso de desarrollo por lo cual aún presenta varias desventajas y limitaciones (Plantá,1999, p.1).

Se define por lo tanto como todas las técnicas que buscan la obtención de una herramienta en materiales tales como: madera, resinas epóxicas o poliuretanos, metales de bajo punto de fusión, metales en polvo sinterizados, aceros de bajo costo y demás que permitan la elaboración de series cortas de producción o prototipos funcionales y que se fabrican en tiempos mucho menores al empleado en la fabricación de un molde por procesos convencionales (maquinado convencional, control numérico computarizado, electro erosión, rectificado, etc), a partir de procesos convencionales de fabricación (fundición, colado de materiales al vacío, galvanoplastia, etc.) o de técnicas de manufactura avanzada (maquinado de alta velocidad, sinterizado con láser, aglutinación de polvos metálicos, etc.)

3. Técnicas aplicables a la construcción de herramientas de embutición

3.1 Vaciado de resinas epóxicas

Esta técnica implica el vaciado de un sistema de resinas epóxicas que consta de resina y endurecedor, sobre un modelo o patrón para obtener una o dos mitades de la herramienta (macho y hembra).

La construcción del molde se hace por vaciado de capas consecutivas, la primera capa se conoce como capa de contacto y las siguientes capas se conocen como *baking* (o respaldo) y tienen como objetivo otorgar mayor rigidez a la herramienta (Ren Shape, 2001).

El tiempo de fabricación o curado de cada una de las mitades de la herramienta depende exclusivamente del fabricante de la resina, pero éste generalmente se encuentra entre 16 horas y tres días.

Figura 1. Proceso de vaciado

Figura 2. Herramienta construida en resina, producto elaborado

Fuente: RENSHAPE (2001). *Metalforming with Rapid Tooling Systems*. Folleto commercial. Michigan: Ren Shape Vantico.

Tabla 1. Proveedores importantes en resinas epóxicas para herramientas para lámina metálica

Fabricante	Distribuidor en Colombia	Dirección WEB
RENSHAPE, Hutsman	Suproquim Ltda.	https://ww1.huntsmanservice.com/AM/ui/search.do
Star Technology	Desconocido	http://www.star-technology.com/tooling.html
West System	Desconocido	http://www.westsystem.com/webpages/productinfo/guide/
Resin Systems Corporation	Desconocido	http://www.resinsystems.com/products/liquid/main.html

3.2 Vaciado de aleaciones metálicas con bajo punto de fusión

Esta técnica utiliza el colado de una aleación reciclable de bismuto y estaño conocida como MCP 137[5], la cual funde a 138 ^{0}C, y se utiliza para producir moldes de embutición para bajas series de producción (Cresta, 2003).

El proceso de fabricación de la herramienta mediante esta técnica es similar al proceso de vaciado en resina epóxicas, una vez esta aleación se encuentra totalmente fundida, es vaciada sobre un modelo preferiblemente de madera, aunque puede emplearse cualquier material como: yeso, lámina metálica o resina.

Para fabricar la herramienta existen dos posibilidades: elaborar el negativo con arena de moldeo o colar la aleación directamente sobre el modelo.

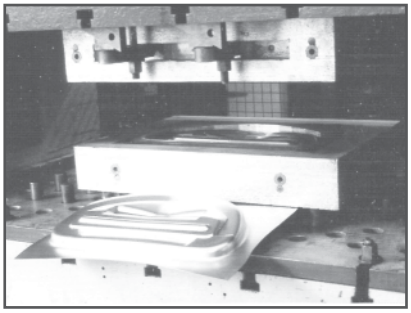
Fabricar el negativo tiene la ventaja que el modelo puede ser recuperado intacto, al igual que la arena de moldeo. Una vez obtenida la primera mitad, ésta se recubre con un papel de cera autoadhesivo resistente a altas temperaturas, el cual tiene el espesor correspondiente al calibre que se desea embutir y se realiza un nuevo vaciado de aleación para producir la segunda mitad de la herramienta (MCP, 2004).

El tiempo total de fabricación de la herramienta oscila entre tres y cuatro días, la principal ventaja de esta técnica radica en el carácter reutilizable de la aleación. Si por algún cambio de diseño necesita modificarse la herramienta, el material puede fundirse nuevamente en muy poco tiempo para producir la nueva.

[5] Referencia de la compañía MCP Group de Inglaterra disponible en http://www.mcp-group.com/index.html

Figura 3. prototipo terminado

Figura 4. Herramienta fabricada con mcp 137



Fuente: MCP. (2004). *Sheet Metal Forming*. MCP Group. Inglaterra. <From: http://www.mcp-group.com/alloys/lmpa_sheet.html> (Consulta: 15 de Febrero de 2004).

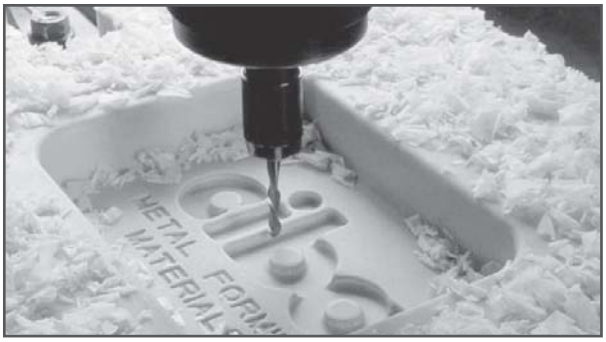
En general si se controlan bien los parámetros de fundición, no se depositan grandes cantidades de residuos sobre la masa fundida y no existen pérdidas por derrames, el reciclado de la aleación sería de una duración infinita.

3.3 Maquinado CNC de paneles de poliuretano de alto impacto

Este proceso es similar al maquinado CNC de metales, sólo que aquí el maquinado se realiza sobre un bloque de poliuretano con alta resistencia al impacto. El proceso se hace a velocidades mucho mayores que las empleadas para metales como el hierro y el acero.

Una vez se ha generado el código de control numérico en un sistema CAM, éste se transmite al centro de maquinado con Control Numérico para comenzar el proceso de desbaste, debido a los elevados parámetros de corte, la fabricación de la primera mitad (macho o hembra) de la herramienta, toma poco tiempo. Además este proceso puede realizarse sin la necesidad de fluido de corte.

Figura 5. Maquinado de un panel de poliuretano



Fuente: RENSHAPE (2001). *Metalforming with Rapid Tooling Systems*. Folleto commercial. Michigan: Ren Shape Vantico.

Tabla 2. Proveedores importantes en paneles de poliuretano maquinables

Fabricante	Distribuidor en Colombia	Dirección WEB
RENSHAPE	Suproquim Ltda..	https://ww1.huntsmanservice.com/AM/ui/search.do
Liquid Plastic Solutions	Desconocido	http://www.liquidplasticsolutions.com/pdf/urethanes_epoxies.pdf
GT Products	Desconocido	http://www.gtproducts.com/
Freeman	Desconocido	http://www.freemansupply.com/MachinableMedia.htm

La otra mitad de la herramienta puede obtenerse por el mismo proceso, pero normalmente por razones de costos, ésta se obtiene por vaciado de resina epóxica directamente sobre la mitad recién obtenida, en cuyo caso debe emplearse una hoja de cera autoadhesiva para simular el espesor que se desea embutir o formar (Ren shape, 2001).

3.4 Layer Milling[6]

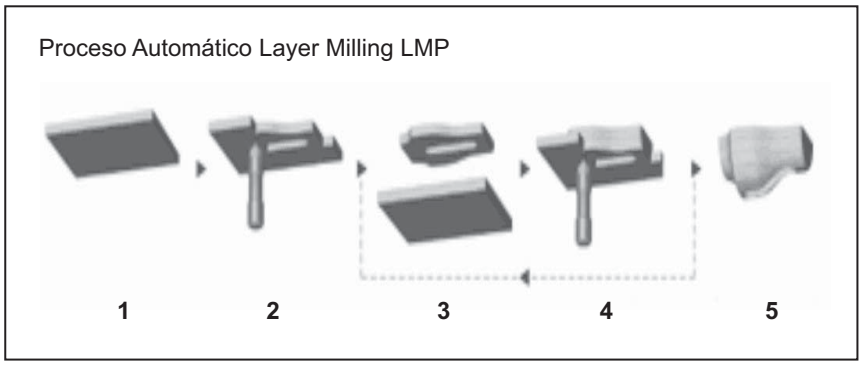
Esta técnica es el resultado de la unión de la técnica de prototipaje rápido conocida como *Stratoconception*, junto con los procesos de fresado y microfresado convencionales. La fabricación de la herramienta se hace mediante la unión de varias láminas de gran espesor las que según su forma representan una determinada sección trasversal del objeto que se desea construir (Mueller, 2000, p. 5).

Las láminas empleadas en esta técnica generalmente son de poliuretano o aluminio, la forma de cada lámina se obtiene por medio de fresado "al revés o inverso", en donde la punta de la herramienta se encuentra orientada hacia arriba, lo cual hace que la viruta desprendida caiga por gravedad, una vez lograda la superficie se adiciona una nueva lámina y así, el proceso se repite hasta que la herramienta se finaliza (Zimmermann, 2003).

Las láminas utilizadas en este proceso son de espesor considerable (10 mm a 100 mm) y la unión de éstas es por medio de adhesivos especiales sensibles a la luz. Por lo general este proceso se realiza en estaciones automatizadas de gran complejidad y costo.

La principal ventaja de esta técnica es que se pueden obtener herramientas o prototipos de alta complejidad en muy poco tiempo y su principal inconveniente es el alto costo del equipo.

Figura 6. Descripción básica del proceso Layer Milling

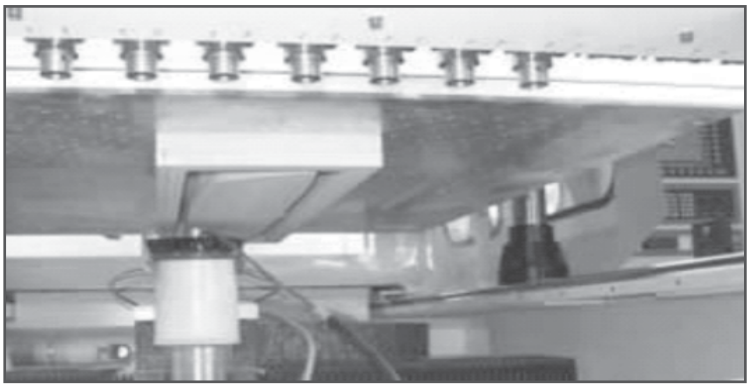


1. Materia prima
2. Fresado "al revés" de la lámina
3. Pegado de la segunda placa sobre la previa
4. Fresado de la segunda placa
5. Modelo construido mediante fresado placa por placa

Fuente: Zimmermann. (2003) *LMC Process*, Zimmermann GMBH. Alemania. <From: http://f-zimmermann.com/en/fzimmermann.html> (Consulta: 10 de Septiembre de 2003).

[6] Técnica desarrollada por la compañía Alemana Zimmermann.

Figura 7. Proceso Layer Milling

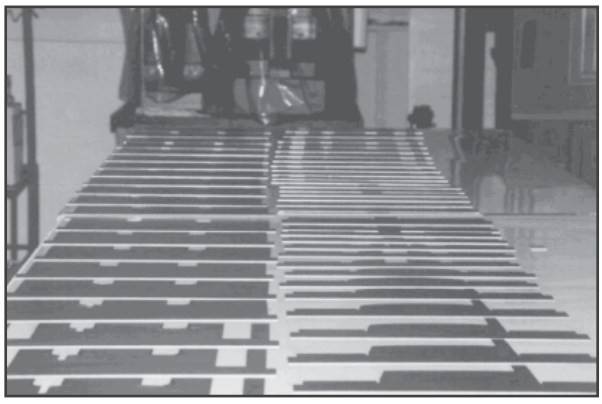


Fuente: Sescoi, (2004) *Layer milling at the press of a button with WorkNC-LMP.* SESCOI Uk. ltd. Inglaterra. <From: http://www.sescoi.co.uk/uk/worknc/casestudies.jsp?cs=kegelmann> (Consulta: 20 de Mayo de 2004).

3.5 Laminated Láser Cut Cavities (LLCC)

Este proceso desarrollado en Bélgica por el CRIF (Centro de Investigación de la Industria Metalmecánica de Bélgica) involucra el corte sucesivo de varias capas de lámina metálica, para la construcción de herramientas de embutición. El corte se hace con la ayuda de un láser de CO_2 y la unión de las distintas capas se hace por medio de adhesivos especiales o tornillos.

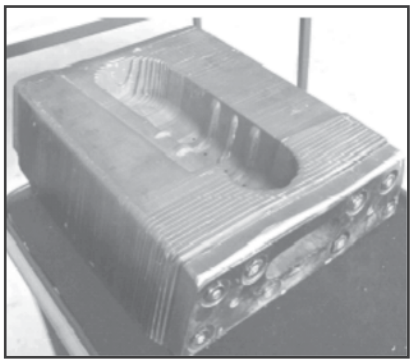
Figura 8. Corte láser de láminas metálicas



Fuente: CRIF. (2002*). New Technology for the Manufacturing of Large Prototype Injection Moulds.* Liege. Bélgica. <From: http://129.69.86.144/raptec/outco/process_chains/directinjection/llcc.html>(Consulta: 15 de Febrero de 2004).

Una vez se obtienen las dos mitades del molde, son llevadas a una electroerosionadora, con el objetivo de homogenizar las superficies y así generar una línea de partición bien definida, por último estas mitades son integradas al resto de la estructura del molde o herramienta para comenzar el proceso productivo, también es de aplicación en moldes para inyección de termoplástico. (CRIF, 2002).

Figura 9. Ensamble de la herramienta fabricada por LLCC

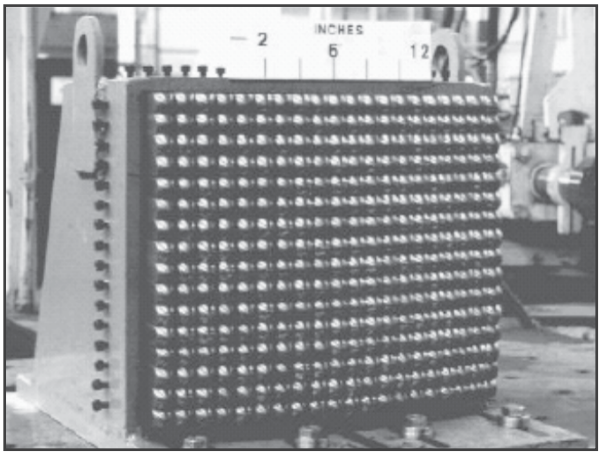


Fuente: Mueller, D.H. y H. Mueller. (2000). *Experiences using rapid prototyping techniques to manufacture sheet metal forming tools.* BIBA (Bremer Institut für Betriebstechnik und angewandte Arbeitswissenschaft an der Universität Bremen, Germany. <From: http://www.ppc.biba.uni-remen.de/projects/rp/Download/RPT_Sheet_Metal_Forming.pdf > (Consulta: 20 Abril. 2004).

3.6 Reconfigurable Tool

Esta técnica desarrolla el concepto de una herramienta reconfigurable con el objetivo de fabricar variados prototipos de embutición o estampación, la herramienta consta básicamente de una matriz que soporta una serie de actuadores electro-mecánicos agrupados en módulos de 8 pines, los cuales pueden cambiar de posición, según las ordenes de un computador central (Papazian, 2002, p. 5).

Figura 10. Herramienta reconfigurable de 366 módulos



Fuente: Papazian, Jhon y otros. (2002). *Tooling for Rapid Sheet Metal Parts Production*. En: 6th Conference in Aging Aircraft. San Francisco. USA. <From: http://www.galaxyscientific.com/agingaircraft2002/SESSIONS/7/7B4_PAPAZIAN_DOC.PDF> (Consulta: 20 de Mayo de 2004).

La principal ventaja del uso de esta técnica se encuentra en su alta flexibilidad, dado que puede emplearse para la producción de una gran variedad de piezas, aunque su desarrollo implica grandes inversiones debido a que cada módulo es costoso.

3.7 Desarrollos recientes

Otras técnicas se desarrollan en la actualidad buscando la reducción del tiempo de fabricación de la herramienta y principalmente los costos asociados a los procesos de manufactura. Desde técnicas muy avanzadas como el sinterizado de metales en polvo por medio de rayos láser, técnica conocida como sinterizado láser selectivo SLS hasta técnicas tradicionales como el *Sprayed Metal* o *TAFA* (Rociado de Metales o metalizado) (MCP, 2004). Otros esfuerzos se encaminan hacia desarrollo de máquinas de control numérico computarizado para el conformado de las láminas desde un modelo tridimensional CAD y su fabricación en éstas máquinas directamente sin necesidad de herramientas especializadas (ASCAMM, 2004). Ingentes esfuerzos se desarrollan en todos los centros de investigación en todo el mundo y cada vez se reportan nuevos desarrollos.

4. Selección del proceso para la construcción de moldes de embutición

Una vez estudiadas las técnicas descritas anteriormente, se realizó un análisis cuantitativo para seleccionar la técnica de fabricación más adecuada, este análisis se hizo mediante factores sugeridos por la compañía.

4.1 Costo de Fabricación

En este factor se consideran todos los aspectos relacionados con las inversiones necesarias que se tendrían que efectuar para la implementación de cada uno de estos procedimientos, dado que dependiendo de las características de cada técnica, deben hacerse inversiones en la adquisición de materia prima, maquinaria, insumos, montaje, software, entre otros. El peso asignado a este factor fue del 40 %.

4.2 Grado de Capacitación

Dentro de este aspecto, se tiene en cuenta el nivel de complejidad que requiere el manejo de una determinada técnica en nuestro medio, dado que algunas de ellas exigen como requisito altos conocimientos tecnológicos, mecánicos e informáticos para su uso adecuado. El peso asignado a este aspecto fue del 20%.

4.3 Complejidad

El factor complejidad involucra esencialmente la geometría, el material y el espesor de la pieza que se quiere fabricar, dependiendo del grado de dificultad que el prototipo presente, se debe analizar cual será la técnica más adecuada para la producción del molde para prototipos, según sus ventajas y limitaciones. El peso otorgado a este factor fue del 20%.

4.4 Tiempo de Fabricación (Lead Time)

Este concepto evalúa el tiempo promedio en el cual se espera tener la herramienta lista para producción, esta evaluación involucra el proceso de consecución de materias primas e insumos necesarios, partiendo de la base de que la maquinaria necesaria se encuentra a disposición. De igual manera en este concepto se involucran los tiempos de diseño y programación presupuestados para la fabricación del molde. El peso otorgado a este concepto fue del 20%.

A continuación se muestra la tabla de calificación utilizada para evaluar cada una de las técnicas estudiadas.

Tabla 3. Evaluación cuantitativa de las técnicas estudiadas

Técnica	Factor Costo de Fabrica	Peso	Factor Grado de Capacitac.	Peso	Factor Comple-jidad	Peso	Factor Tiempo de Fabric.	Peso	Calificación Total
Vaciado de Resinas Epóxicas	5	40%	5	20%	5	20%	4	20%	4.8
Maquinado de Paneles de Poliuretano	3	40%	5	20%	5	20%	5	20%	4.2
Vaciado de Aleaciones con Bajo Punto de Fusión	3	40%	4.5	20%	5	20%	4	20%	3.9
Layer Milling	1	40%	3	20%	2	20%	3	20%	2.0
Laminate Laser Cut Cavities	1	40%	2	20%	2	20%	2	20%	1.6
Reconfigurable Tooling Technology	1	40%	1	20%	1	20%	1	20%	1.0

Como puede observase en la tabla anterior, el método más apropiado dentro de los técnicas analizadas para la construcción del molde prototipo según las condiciones actuales de industrias HACEB S.A., es el de ***Vaciado de resinas epóxicas.***

5. Construcción del Molde de Embutición a partir de resinas Epóxicas

Las etapas respectivas para la construcción del molde de embutición fueron:

- Definición de la pieza prototipo a fabricar.
- Búsqueda y selección de proveedores y materiales.
- Diseño del molde de embutición.
- Fabricación del molde.

A continuación se muestra el molde prototipo obtenido para una de las piezas conocida como "Tapa Suiche" para una cocina, junto con uno de los prototipos obtenidos:

Figura 11. Macho fabricado en resina

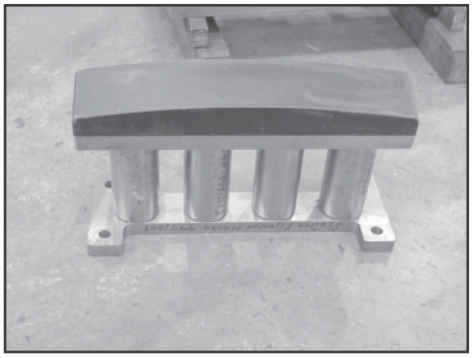
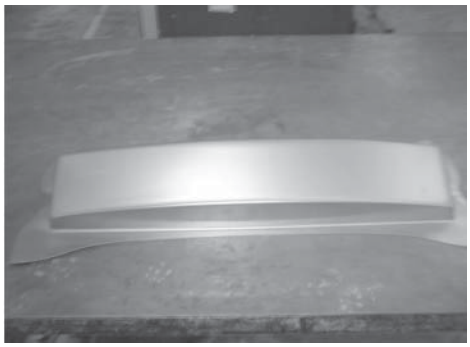


Figura 12. Prototipo obtenido



El proceso de vaciado tomó aproximadamente 4 horas y el tiempo de curado para esta herramienta fue de 24 horas, después de las cuales se hizo el desmolde del macho y se ensambló al resto de la estructura del molde para integrarse al proceso productivo.

6. Ventajas y Desventajas del Método Empleado

Esta herramienta de embutición tuvo una producción aproximada de 2050 piezas después de las cuales, se retiró del proceso productivo debido a que sufrió una fisura en uno de sus extremos.

A continuación se listan las ventajas y desventajas más significativas encontradas al emplear este método para la fabricación de herramientas de embutición.

6.1 Ventajas

- **Costo de fabricación:** En este caso el molde fabricado mediante esta técnica basada en el concepto *Rapid Tooling*, fue menos costoso en comparación con lo presupuestado para el acero 1045, lo cual representa una gran ventaja a la hora de fabricar y validar prototipos de embutición, puesto que muchas veces los cambios de diseño, implican modificaciones costosas e incluso la pérdida total del molde fabricado
- **Tiempo de fabricación:** El tiempo para la obtención del molde es muy bajo en comparación con el método actual (maquinado con control numérico computarizado y placas de acero, el cual dependiendo de la programación de producción de la máquina CNC puede demorar entre dos a ocho semanas), debido a que una vez se tiene listo el modelo o patrón que se desea copiar, el proceso de vaciado, curado y desmolde de la herramienta, toma aproximadamente 48 horas, situación extremadamente favorable para la obtención rápida de prototipos.
- **Calidad de la pieza obtenida:** Este aspecto es fundamental en la validación de prototipos, puesto que al utilizar este método directo de fabricación, las piezas obtenidas son de material y proceso definitivo, por lo cual la verificación de apariencia y funcionalidad de la pieza es mucho más precisa (Plantá, 1999, p.1).

- **Fácil manejo:** El empleo de esta técnica para la fabricación de herramientas de embutición, no presenta mayores dificultades técnicas, por lo cual puede realizarse por cualquier miembro del taller de moldes y troqueles, sin necesidad de conocimientos o habilidades avanzadas.

6.2 Desventajas

- **Necesidad de un modelo:** Una de las principales desventajas de esta técnica, radica en la obtención del modelo o patrón sobre el cual se desea realizar el vaciado, la calidad de este modelo debe ser excepcional, debido a que cualquier defecto será copiado fielmente por la resina, obteniendo así, una herramienta deficiente sino se cuenta con un modelo idóneo.

  Desafortunadamente en nuestro país el problema se vuelve más crítico, dado que para la creación de la segunda mitad de la herramienta, se deben usar papeles de cera autoadhesiva para crear el espesor de la pieza que se desea embutir; pero hacen falta proveedores nacionales de este tipo de papeles, lo que hace que muchas veces no puedan utilizarse modelos ya fabricados y tienen que construirse cavidades como en el caso anterior.

- **No reutilizable:** Una vez construida la herramienta mediante esta técnica, los materiales no pueden ser reciclados para producir una nueva herramienta, además el maquinado posterior de estas resinas no es recomendable porque tiende a fracturarse.

Conclusiones

La fabricación de herramientas para la producción de prototipos o bajas series de producción, mediante la experimentación y el uso de técnicas basadas en el concepto *Rapid Tooling*, presenta varias ventajas en el proceso de desarrollo de nuevos productos, entre las que se encuentran: tiempos de fabricación más cortos, menores costos de producción, y reducciones sustanciales en los tiempos de aprobación de prototipos.

El *Rapid Tooling* se perfila como una de las herramientas más adecuadas, no sólo en la producción económica de prototipos y bajos volúmenes, sino también como medio eficaz para el diseño y validación de moldes y troqueles definitivos.

La buena calidad de los prototipos obtenidos mediante herramientas construidas a base de métodos directos de *Rapid Tooling*, otorga mayor confiabilidad al proceso de validación de nuevas partes o componentes, puesto que los prototipos obtenidos presentan todas las características de la pieza definitiva en cuanto a material, apariencia y proceso de fabricación.

Las técnicas de *Rapid Tooling* más adecuadas para su posible implementación, como parte del proceso de fabricación de moldes de embutición o estampación de lámina metálica, orientados a bajas series de producción dentro de este tipo de industrias son específicamente : Vaciado a base de resinas epóxicas, maquinado CNC de paneles de alto impacto a base poliuretano y vaciado de aleaciones metálicas con bajo punto de fusión (MCP 137).

De las técnicas anteriores la que presenta mayor versatilidad para nuestro medio en la construcción de moldes de embutición y de estampación para lámina metálica para bajas series de producción, es la técnica de vaciado de aleaciones de bajo punto de fusión (MCP 137), dado el carácter reutilizable de esta aleación, permite la construcción de un sin número de herramientas de embutición de todo tipo sin incurrir en mayores costos por la adquisición de materia prima. Sin embargo los costos iniciales de la inversión son elevados (costo de los hornos, costo de la materia prima inicial).

El proceso de desarrollo y el posterior comportamiento del molde de embutición, fabricado mediante el vaciado de resinas epóxicas dentro del proceso productivo de Industrias HACEB S.A., fue satisfactorio ya que se lograron todos los objetivos planteados por la compañía los cuales fueron: experimentación de la técnica, fabricación rápida y económica de la herramienta, puesta en operación, obtención exitosa de prototipos de embutición en lámina metálica, y análisis de resultados.

Estas técnicas de *Rapid Tooling* son perfectamente aplicables a otros procesos industriales que se manejan en este tipo de industrias como la construcción rápida de moldes de inyección de termoplásticos y el termoformado de lámina polimérica.

El uso frecuente de técnicas de *Rapid Tooling* para la fabricación rápida de herramientas funcionales, para la producción de prototipos y pequeños volúmenes de producción, es una alternativa para acelerar y mejorar los procesos de diseño y validación, de nuevos productos dentro de la industria metalmecánica nacional en general.

Las principales barreras para la implementación de la mayoría de las técnicas de *Rapid Tooling* en Colombia son entre otras: los elevados montos de inversión en equipos y tecnologías, la poca presencia de centros de desarrollo tecnológico o universidades que adelanten investigación y desarrollo en este campo, el desconocimiento generalizado de estas metodologías y técnicas y la ausencia de proveedores nacionales de tecnología y materiales que permitan experimentar e introducir estas técnicas.

Es indispensable ahondar en la investigación y desarrollo de las otras técnicas analizadas y que le siguen en su orden: Maquinado de paneles de poliuretano en máquinas CNC y vaciado de metales de bajo punto de fusión, las cuales se muestran muy promisorias para resolver este tipo de problemas.

Agradecimientos

Los autores hacen público su agradecimiento a Industrias HACEB S.A. y a su departamento de Investigación y Desarrollo por el apoyo brindado a los autores en la realización de este trabajo.

Bibliografía

ASCAMM. (2004). Asociación Catalana de Fabricantes de Moldes y Matrices. Entrevista personal con Xavier Plantá. Director Centro Tecnológico. Barcelona España. Febrero de 2004.

Cresta, Juan J. (2003). *MCP IBERIA*. Departamento Comercial MCP Iberia, Entrevistas escritas y telefónicas realizadas entre Agosto y Septiembre de 2003. Madrid. España.

CRIF. (2002*). New Technology for the Manufacturing of Large Prototype Injection Moulds*. Liege. Bélgica. <From: http://129.69.86.144/raptec/outco/process_chains/directinjection/llcc.html> (Consulta: 15 de Febrero de 2004).

MCP. (2004). *Sheet Metal Forming*. MCP Group. Inglaterra. <From: http://www.mcp-group.com/alloys/lmpa_sheet.html> (Consulta: 15 de Febrero de 2004).

Mueller, D.H. y H. Mueller. (2000). *Experiences using rapid prototyping techniques to manufacture sheet metal forming tools.* BIBA (Bremer Institut für Betriebstechnik und angewandte Arbeitswissenschaft an der Universität Bremen, Germany. <From: http://www.ppc.biba.uni-remen.de/projects/rp/Download/RPT_Sheet_Metal_Forming.pdf > (Consulta: 20 Abril. 2004).

Papazian, Jhon y otros. (2002). *Tooling for Rapid Sheet Metal Parts Production*. En: 6th Conference in Aging Aircraft. San Francisco. USA. <From: http://www.galaxyscientific.com/agingaircraft2002/SESSIONS/7/7B4_PAPAZIAN_DOC.PDF> (Consulta: 20 de Mayo de 2004).

Plantá, Xavier. (1999). "Nuevas técnicas de fabricación rápida de moldes prototipo". En: *Revista Plásticos Universales*. N. 58. p. 1. <From: http://www.plastunivers.com/Tecnica/Hemeroteca/ArticuloCompleto.asp?ID=6231> (Consulta: 20 Mayo 2004).

RENSHAPE (2001) *Metalforming with Rapid Tooling Systems*. Folleto commercial. Michigan: Ren Shape Vantico.

Sescoi, (2004) *Layer milling at the press of a button with WorkNC-LMP.* SESCOI Uk. ltd. Inglaterra. <From: http://www.sescoi.co.uk/uk/worknc/casestudies.jsp?cs=kegelmann> (Consulta: 20 de Mayo de 2004).

Zimmermann. (2003) *LMC Process*, Zimmermann GMBH. Alemania. <From: http://f-zimmermann.com/en/fzimmermann.html> (Consulta: 10 de Septiembre de 2003).