

Integración CAD/CAE/CAM-PR en la optimización del diseño de productos plásticos: caso de estudio

Plastic products design optimization using integration between CAD/CAE/CAM and PR: study case

M. V. Candal.

Universidad Simón Bolívar, Departamento de Mecánica, Sección de Polímeros, Grupo de Polímeros.
Apartado 89000, Caracas 1080-A, Venezuela.
mcandal@usb.ve

Resumen

El objetivo principal del presente estudio es el logro de la integración de las herramientas computacionales CAD/CAE/CAM con la generación de prototipos rápidos (PR), de forma tal de lograr piezas y moldes de inyección en menor tiempo, costo y de buena calidad. Se consideró como caso de estudio un estuche optimizado de disco compacto (CD) utilizado en el mercado disquero. La metodología utilizada se centró en el empleo de la técnica de desarrollo de productos utilizando como base programas de computación para diseño, simulación y manufactura por computadora para piezas. Se modeló el estuche de CD empleando un programa modelador de sólidos en tres dimensiones y se estudió el proceso de inyección de la pieza mediante un programa simulador. Para proponer los cambios que se pueden realizar en el empaque se utilizaron los resultados obtenidos mediante los programas, así como los observados en el polariscopio y las opiniones de los consumidores y del personal que labora en empresas fabricantes de CD's referidos en trabajos previos. Los cambios propuestos fueron a nivel de diseño del producto, diseño del molde, selección de parámetros de la máquina de inyección y selección de la resina. Se logró, debido a la integración de las herramientas computacionales con la generación de prototipos, la disminución de altos esfuerzos y líneas de soldadura existentes en las zonas críticas de la pieza, manteniendo uniforme el llenado y la distribución de temperaturas en las cavidades. En este trabajo se desarrollaron las etapas de la ingeniería concurrente para lograr una pieza optimizada combinando el diseño y la manufactura con la investigación de mercado, la simulación del proceso, el análisis de esfuerzos por elementos finitos y el uso de equipos de laboratorio para lograr la realización de un producto y sus respectivos moldes dimensionados en menor tiempo y empleando menos recursos.

Palabras claves: CAD/CAE/CAM, prototipado rápido, productos plásticos.

Abstract

The main objective of the present study is the achievement of the integration of the computational tools CAD/CAE/CAM with the rapid prototype generation (PR), in a such way of achieving pieces and injection molds in smaller time, cost and with a good quality. It was considered an optimized compact disk (CD) case used in the record market like a study case. The methodology employed was based on the technique of products development using design, simulation and manufacture software. The CD case was modelled using a solid modelling three dimensional program and the injection process was studied with a simulator program. The piece changes proposed were obtained by means of the results of the simulation programs, as well as the results observed in the polaryscope and the opinions of the consumers and the personnel that works in CD's manufacturing companies, that were referred in previous works. The proposed changes were related with the product design, mold design, injection machine and resin selection. It was achieved, due to the integration of the CAD/CAE/CAM tools with the prototypes generation, the decrease of high stress and weld lines in the critical areas of the piece, maintaining uniform the piece filling and the temperature distribution in the cavities. In this work, the stages of the concurrent engineering were developed to achieve an optimized piece with their respective mold in smaller time and using less resources, combining the design and the manufacture with the market investigation, the process simulation, the stress analysis using

finite elements and the use of laboratory essays.

Key words: CAD/CAE/CAM, rapid prototyping, plastic products.

1 Introducción

Las decisiones de abandonar un producto, modificar los existentes y lanzar otros nuevos, son de vital importancia para cualquier empresa, independientemente de su tamaño o actividad y conciernen no sólo a su función de comercialización, sino a toda la organización ya que esta definición compromete su existencia misma. La razón de ser de las empresas es satisfacer a los clientes y ante el acelerado cambio en los gustos, la tecnología y la competencia, ninguna compañía puede prescindir de desarrollar nuevos productos o servicios a mediano y largo plazo. Los productos tienen un ciclo de vida y si estos no se modifican o sustituyen, las ventas, la participación en el mercado y las ganancias se reducirán (Schnarch, 1998).

El proceso de creación y lanzamiento de nuevos productos al mercado ha sido estudiado por diversos autores que describen la metodología que debe seguir una empresa para ello (Iváñez, 2000). Para la Fundación BCD (1985), el diseño y lanzamiento de un nuevo producto es un proceso que se clasifica en seis fases, que son: (a) investigación preliminar; (b) diseño (preparación de un anteproyecto del nuevo producto, desarrollo del mismo, realización de un prototipo y estudio comercial); (c) desarrollo (puesta a punto del producto y planificación de la producción); (d) inicio de la producción; (e) mercadeo y (e) producción.

Por otro lado, Iváñez (2000) asegura que el proceso de desarrollo de un producto está dividido en cinco etapas que son: (a) definición del producto; (b) diseño del producto; (c) prueba del nuevo producto; (e) producción y lanzamiento del nuevo producto al mercado y (e) gestión del ciclo de vida de los nuevos productos.

En cuanto a los materiales con los cuales se puede fabricar el producto, en la actualidad existen una infinidad de ellos, pero para el caso particular de este trabajo se ha escogido los realizados en polímeros. Estos se encuentran, hoy en día, muy bien definidos, con personalidad propia, habiendo pasado a la historia el concepto de materiales baratos sustitutivos de otros de mayor calidad. Los plásticos han incursionado de manera importante dentro del mercado de productos que la sociedad actualmente utiliza, cubriendo un amplio rango de aplicaciones tales como eléctricas, automovilísticas, empaques, transporte, maquinarias, cosméticos, medicina, papel, tejido, entre otras. El uso de materiales plásticos para toda esta gama de utilidades se ha convertido en una necesidad primordial para diseñadores, arquitectos y para todo el que esté relacionado con el desarrollo de nuevos productos (Brydson, 1977).

Para obtener la gran mayoría de estas piezas se emplea el conocido método de inyección. Este proceso posee como meta principal la obtención del mayor número posible de piezas moldeadas con la máxima calidad en el mínimo

tiempo. El proceso consiste en que el material de moldeo entra en el cilindro de calefacción; se funde, al mismo tiempo que circula hacia la parte anterior del cilindro por la presencia de un tornillo recíprocante que actúa como un pistón. Se obliga de esta manera al material fundido a pasar del barril por la boquilla a las cavidades del molde. Posteriormente, se espera un tiempo prudente para que las piezas se enfríen y puedan ser desmoldeadas sin ningún problema (Anguita, 1975).

Partiendo de lo mencionado anteriormente, González y colaboradores (2003) establecieron una metodología para el diseño específico de piezas plásticas y su respectivo molde de inyección mediante el empleo de herramientas computacionales de diseño asistido por computadora (CAD), ingeniería asistida por computadora (CAE) y manufactura asistida por computadora (CAM), durante el cual se evalúan los aspectos relacionados con la optimización o el desarrollo de un nuevo diseño de una pieza en particular. Estas etapas son las siguientes: (a) concepción del diseño; (b) estudio de mercado; (c) análisis de los diferentes productos existentes en el mercado similares al planteado; (d) análisis de moldes de piezas similares existentes (si es posible); (e) creación de un modelo de sólidos en tres dimensiones completo de la pieza existente en el mercado y del nuevo diseño utilizando un programa tipo CAD; (f) creación de la malla para la simulación del producto por el método de los elementos finitos (MEF) utilizando un programa CAD o CAE; (g) simulación del diseño del producto existente en el mercado y del optimizado) utilizando una herramienta computacional CAE; (h) validación experimental de los resultados de la simulación para la pieza existente en el mercado; (i) creación de un prototipo de la pieza; (j) creación de un modelo en tres dimensiones del molde; (k) construcción del molde en un centro de mecanizado utilizando códigos de control numérico computarizado obtenido de un programa CAM y (l) validación del molde experimentalmente.

1.1 Herramientas CAD/CAE/CAM

Desde la década de 1980, tres instrumentos han revolucionado el tratamiento de diseño en el mundo de la industria: CAD, CAE y CAM. En estas técnicas se eliminan prácticamente las tareas de dibujo y cálculo manual, gracias a lo cual diseñadores y fabricantes cometen menos errores en los diseños de la pieza, la selección del material y las configuraciones de las herramientas (Richardson y Lokensgard, 2000).

La sistematización del proceso de diseño y manufactura de artículos plásticos y moldes de inyección mediante el empleo de herramientas de computación ha facilitado enormemente la larga y tediosa fase del proceso de obtención de una pieza. Con estos programas para diseño de piezas y

moldes se pueden verificar aspectos relacionados con el ensamblaje y el acabado final de los mismos, mientras que con los programas de simulación de procesos se conocerá su factibilidad utilizando el diseño previamente elaborado. De esta forma, después de alcanzadas las condiciones adecuadas, se puede obtener el molde y, posteriormente, la pieza, a través del uso de máquinas de control numérico (CNC) para mecanizado y máquinas de inyección controladas por medio de programas de manufactura asistida por computadora (CAM). El uso de estas herramientas ha permitido reducir el tiempo y el dinero necesario, ya que muchos errores que manualmente se cometían, actualmente se pueden eliminar con las herramientas computacionales (Bernhardt, 1983).

1.2 Prototipado rápido

Un prototipo es todo aquel modelo físico de una pieza que se realiza previamente a su industrialización, a objeto de validar todas o algunas de sus características y funciones teóricas. La realización de los mismos se vincula al desarrollo de nuevos productos, ya que es durante este proceso que surge la necesidad de comprobar la bondad, en todos sus aspectos, de lo diseñado. Las principales funciones de un prototipo son: (a) apreciación de la estética, porque permite comprobar si la pieza responde a las expectativas de diseño, tanto en forma como en volumen; (b) validación dimensional, porque permite comprobar el encaje de una pieza con otra; (c) validación funcional, porque permite verificar si los montajes son fiables con las tolerancias adecuadas y (d) verificación experimental, porque permite determinar si las piezas soportan las cargas mecánicas, químicas y térmicas a las cuales está sometida, además de comprobar si resisten fatiga o el envejecimiento en condiciones reales (AS-CAMM; Manolis, 2002; Lafont, 1999; Lafont y colaboradores, 2000 y Egea).

1.3 Trabajos previos

Sánchez y colaboradores (1997) optimizaron el diseño de una carcasa de una bomba de agua utilizando las tecnologías CAD/CAE. Propusieron la sustitución del material polimérico empleado preservando la geometría de la pieza. Los resultados demostraron que con el nuevo material los esfuerzos concentrados disminuyeron considerablemente.

De igual forma, Travaglini (1998) utilizó estas tecnologías para optimizar el diseño de un contenedor rectangular de pared delgada y su respectivo molde. Se demostró que el análisis de esfuerzos por el método de elementos finitos puede ser usado para evaluar la deflexión bajo carga. Se concluyó que al aplicar estas herramientas en etapas tempranas se pueden obtener buenos resultados en corto tiempo y bajos costos de manufactura.

Por otro lado, Morales y colaboradores (2001) estudiaron un estuche de CD comercial usando programas de diseño y simulación del proceso de inyección. Los resultados mostraron alta concentración de esfuerzos en áreas específi-

cas de la pieza.

Candal y colaboradores (2004 (a)) diseñaron y evaluaron un molde de inyección para producir una tapa de seguridad para envases farmacéuticos, utilizando herramientas CAD/CAE. Se propusieron dos moldes de inyección: uno de cuatro cavidades con postizos intercambiables y uno de ocho cavidades que permitiera producir ambas piezas que conforman la tapa de seguridad a la vez. Los moldes familiares presentaron la mayor rentabilidad con un aumento del 12% en el tiempo de ciclo con respecto a los moldes de 4 cavidades con postizos intercambiables.

1.4 Caso de estudio

La caja convencional de CD's conocida como estuche tipo joya (jewel case), en realidad ha permanecido en el mercado por varios años virtualmente sin sufrir cambios. Como su nombre lo indica, es una pieza delicada de la cual se conocen prácticamente todos sus defectos, pues en numerosas oportunidades causa inconvenientes a sus usuarios.

El estuche de CD es una pieza de consumo masivo prácticamente en todo el mundo, por lo que la demanda cada día es mayor. Pero la reciente aparición de las tecnologías de DVD y DVD – ROM han hecho que cada día las empresas diseñadoras se especialicen más en buscar el perfeccionamiento en este tipo de estuches, ya que estos nuevos productos son capaces de almacenar hasta 25 veces la información de un CD convencional, por lo que se requiere un tratamiento especial con ellos para no perder la información. Uno de los principales defectos del estuche tipo joya es que cuando el usuario pretende remover el disco de la caja se tienden a desalinearse las dos mitades adheridas del disco moldeado, lo que puede perjudicar la calidad de la información que se almacena allí.

Es por ello, que el presente trabajo tiene como objetivo primordial presentar la importancia de combinar el uso de las herramientas CAD/CAE/CAM con el PR, de forma tal de diseñar nuevos productos para comercializar en el mercado, a menor tiempo, dinero y desperdicio. Para ello se plantea el uso de programas computacionales, ensayos de laboratorio y encuestas a usuarios combinado con la realización de un prototipo, de forma tal de optimizar el diseño de un estuche de CD comercializado en el mercado disquero.

2 Metodología

En el presente estudio se utilizó la metodología propuesta por González y colaboradores (2003) adaptándola al caso particular propuesto. Las dos primeras etapas de concepción del diseño y estudio del mercado fueron estudiadas previamente en otro estudio (Candal y colaboradores 2002, a). En específico, la integración de las herramientas CAD/CAE/CAM/PR se llevó a cabo siguiendo el esquema presentado en la figura 1.

Es así como se analizaron las piezas existentes en el mercado y se decidió la escogencia del estuche original para

el mercado discográfico. Del estudio preliminar realizado, se pudo comprobar que el estuche posee ciertos defectos que pueden ser mejorados (Morales y colaboradores, 2001; Candal y colaboradores, 2001). Posteriormente, se creó un modelo de sólidos en tres dimensiones del nuevo diseño, utilizando el programa CAD y se creó la malla para la simulación del producto utilizando el programa CAE y la llamada convergencia en elementos finitos. Los cambios propuestos fueron a nivel de diseño (modificación del punto de sujeción del CD en la bandeja) (Fig. 2), de molde (colocación de entradas dobles cuando anteriormente se inyectaba por una sola entrada para la tapa y la base del estuche) (Fig. 3), de máquina (modificación de las condiciones de proceso: presión y velocidad de inyección y temperatura de fun-

dido) y de resina (otro Poliestireno (PS)).

Se validaron los resultados de la simulación con los obtenidos experimentalmente para la pieza existente en el mercado (Candal y colaboradores, 2002 (b) y Candal y colaboradores, 2004 (b)). Posteriormente, se creó un prototipo del estuche optimizado utilizando la técnica de modelado por deposición de fundido (FDM) siguiendo las etapas mostradas en la figura 4. Por último, se creó un modelo en 3D de los tres moldes usando un programa CAD.

Se ha propuesto que posteriormente se realizará el código de control numérico computarizado (CNC) utilizando una herramienta CAM para dar paso a la construcción física del molde. Y de esta forma, poder verificar experimentalmente el mismo.

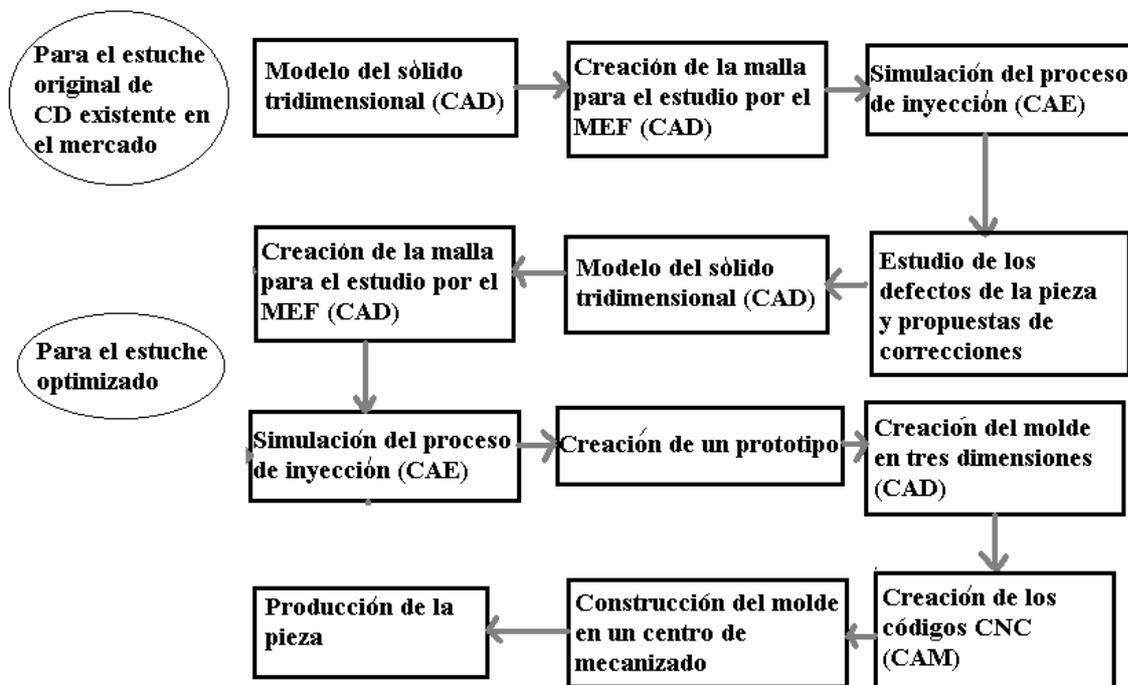


Figura 1: Esquema de la integración de las herramientas CAD/CAE/CAM/PR para el diseño de un estuche de CD optimizado.

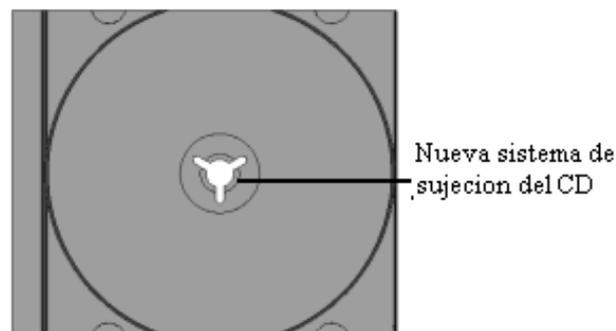


Figura 2: Nuevo modelo de bandeja optimizado para el estuche de CD existente en el mercado.

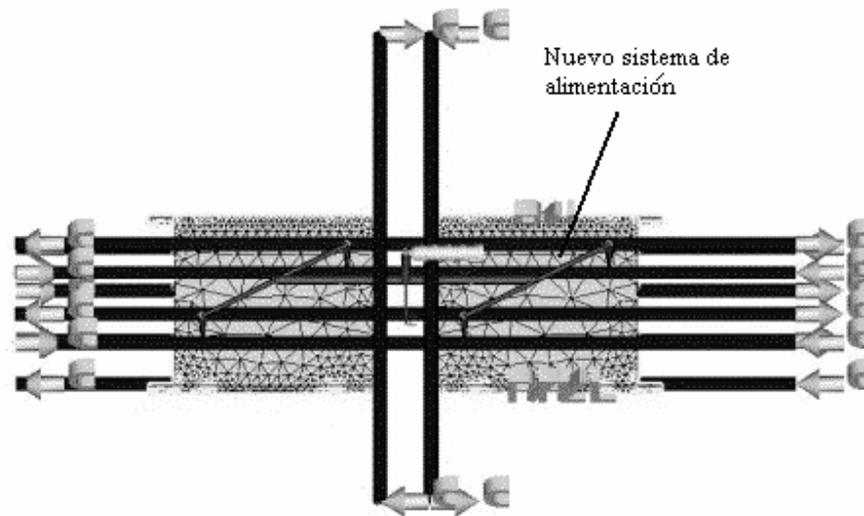


Figura 3: Simulación del molde de la tapa del estuche de CD optimizado.

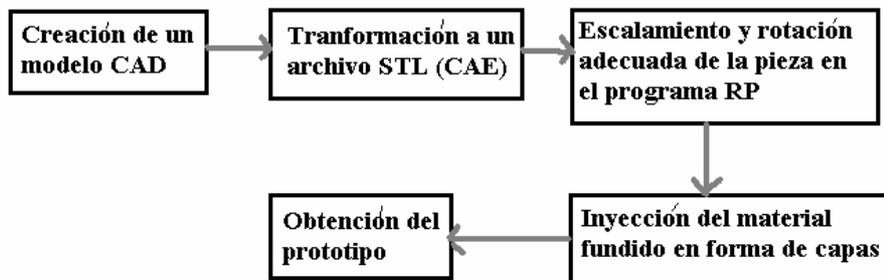


Figura 4: Etapas para la creación de un prototipo rápido usando la técnica FDM.

3 Resultados y discusión

Reducir el tiempo de ciclo del producto, adecuarlo a las necesidades o preferencias de los consumidores y el logro de un costo más bajo con un nivel de calidad más elevado son los objetivos que se pretenden cubrir empleando la técnica de desarrollo de productos mencionada anteriormente en la metodología. Esta técnica es la conocida como ingeniería concurrente.

Después de la previa evaluación de las variables relativas al molde utilizando las herramientas CAE realizada en trabajos previos (Morales y colaboradores, 2001 y Candal y colaboradores, 2001), se determinó que era necesario el cambio de una entrada para la inyección de las piezas a dos para cada cavidad (tapa y base), las cuales seguían favoreciendo el flujo uniforme y continuo del PS, pero permitían la ubicación de las líneas de soldadura en otras zonas que no generaran tanto problema en la pieza. Para la bandeja se determinó, gracias al uso de los programas CAD/CAE, que se debía seguir usando una sola entrada, ya que las líneas de soldadura generadas y su ubicación no representaban tantos problemas como los presentados en las otras dos piezas por su zona de ubicación cercana a agujeros, ángulos de 90°, etc. Igualmente, se determinó que, a pesar de que se reco-

mienda que las entradas capilares deben ser lo más pequeñas posibles para facilitar el desmoldeo de las piezas, era conveniente el aumento del diámetro de las mismas para que una mayor cantidad de material entrase a las cavidades y así poder reducir los esfuerzos residuales concentrados a su alrededor. El sistema de alimentación, como se observa en la figura 3 se encuentra rotado en un ángulo de 30° para facilitar su correcta expulsión.

Por otro lado, el principal objetivo al hacer cambios en las condiciones del proceso en el programa CAE, fue reducir la presencia de esfuerzos residuales y los problemas presentes generados por estos esfuerzos. Bushko y Stokes (1995) demostraron con su estudio del efecto de estas condiciones sobre la contracción y los esfuerzos residuales, que al realizar cambios en las mismas se pueden verificar las variaciones en los esfuerzos de corte durante el proceso de solidificación. Es por ello que en el presente trabajo se decidió el aumento de la temperatura y la disminución de las presiones de inyección y sostenida, con lo que fueron mejoradas los esfuerzos concentrados en las piezas. La temperatura del molde se mantuvo en el valor recomendado por el fabricante del programa CAE. Se realizaron entonces diversas corridas con diferentes mallas (variación de la cantidad de elementos de las mismas) utilizando para ello el progra-

ma CAD (Fig. 5) y el término conocido como convergencia.

Para verificar la convergencia de los resultados obtenidos se graficó la variación del tiempo de llenado, el tiempo de desmoldeo y los esfuerzos residuales máximos, lo cual será analizado en un trabajo posterior. Se obtuvo en las últimas simulaciones realizadas una convergencia de los resultados (estabilidad en los valores de las últimas corridas realizadas mostradas en las curvas), así que los valores de la última corrida fueron los escogidos como los más aceptables porque el tiempo de simulación no era muy alto. Partiendo de estos resultados, se analizó el ciclo secuencial del

proceso de inyección de los resultados obtenidos de la herramienta CAE.

Al analizar la fase de llenado, se observó que el avance del frente de flujo es uniforme para todas las piezas, ya que existen caminos iguales de flujo desde las dos entradas hasta las líneas de convergencia del material para el caso de la tapa y la base o hasta la zona mas externa de la pieza, como en el caso de la bandeja. Se determinó además que el tiempo de llenado de la tapa es de 2,47 seg, el de la bandeja es de 2,06 seg y el de la base es de 2,36 seg.

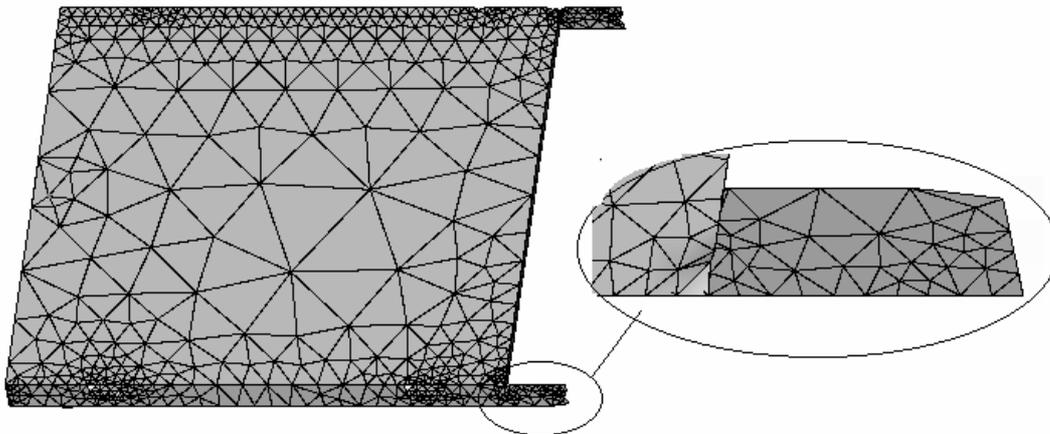


Figura 5: Mallado mas denso de la tapa del estuche de CD optimizado.

En cuanto a la fase de enfriamiento, se pudo determinar que la máxima diferencia de temperatura entre las zonas más calientes y las más frías de las piezas se encuentra en el rango propuesto por el programa CAE, que es de 10°C. Para el caso de la tapa es de 3,83°C, para la bandeja de 6,07°C y para la base es de 3,95°C. Se determinó igualmente que, según el resultado de fracción de capa sólida, la pieza está lista para ser desmoldeada a un tiempo de 17,53 seg para la tapa, de 17,64 seg para la bandeja y de 17,49 seg para la base. Se logró además, que la temperatura al desmoldear estu-

viese por debajo de la recomendada para el material (80°C).

De la fase de compactación se puede decir que se logró que la presión en la cavidad para las tres piezas fuera nula en el momento de su desmoldeo. De igual forma, la contracción esperada de las piezas está por el orden de 5% para las tres piezas, lo cual está dentro de lo esperado ya que no sobrepasa el 6% recomendado para el PS (Fig. 6). Las zonas con mayor contracción coincidieron con aquellas donde la longitud de flujo es mayor.

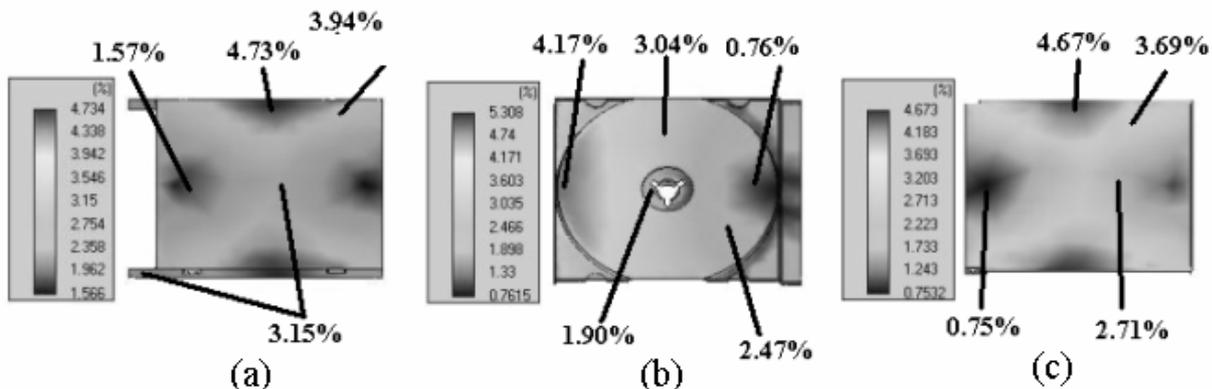


Figura 6: Contracción volumétrica (a) tapa, (b) bandeja y (c) base optimizada del estuche de CD.

Es inevitable la aparición de líneas de soldadura, pero se debe tratar de modificar su ubicación a lugares donde representen menor importancia. Es por ello que se eliminó la línea de soldadura presentada en la bisagra de la tapa debido a que se generaban altos esfuerzos allí, lo que implicaba que la misma se rompiera en dicha zona cuando se encuentra sometida a impacto. Así que al colocar la doble entrada, el programa de simulación CAE sirvió para visualizar el cambio de la línea de soldadura a otra zona donde representa menos problema para la pieza (Fig. 7). Igualmente ocurre para la base del estuche optimizado.

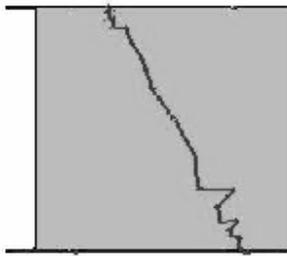


Figura 7: Líneas de soldadura para la tapa optimizada del estuche de CD.

La siguiente etapa del proceso fue la fabricación de un prototipo. La elaboración rápida de los mismos es una tecnología que permite reducir retrasos en el ciclo de diseño y manufactura mediante la creación de una pieza en el menor tiempo posible para definir todas las características finales de la misma antes de llevarla a producción. Se llevó a cabo la creación del estuche optimizado de CD utilizando el PR, de forma tal, de visualizar la geometría de la pieza teniéndola físicamente; además de permitir la detección inmediata y la reducción de posibles errores de diseño.

Para validar el diseño del estuche de CD, surgió la idea de crear un modelo en tres dimensiones de la pieza propuesta, la cual, a pesar de ser muy similar a la existente en el mercado, serviría como punto de partida para demostrar que las mediciones realizadas eran exactas, además de que a pesar de que el punto de sujeción fue modificado, éste cumplía sus funciones igual que cualquier otro existente en el mercado.

Por tanto, se puede decir, que el prototipo realizado era solo un modelo de presentación, que se usa solamente para presentar cuál es el producto y las modificaciones realizadas al mismo. Además se puede considerar como un modelo funcional porque permitió comprobar el correcto ensamblaje de las tres piezas, aunque éste fue verificado previamente con el programa CAD. Su acabado fue bueno y el tiempo de producción fue bajo respecto a otros prototipos existentes en el mercado que se demoran en producirse muchas horas:

Un proceso muy utilizado es el de la SLA, el cual es un proceso de construcción de objetos tridimensionales, estrato a estrato, a partir de la especificación de un modelo virtual de los mismos. La idea básica consiste en descom-

poner el modelo en un conjunto de secciones y fabricarlas una por una. Una vez acabada una sección, se construye encima la siguiente, y así sucesivamente hasta completar el objeto. Hoy por hoy existen "impresoras 3D" capaces de crear modelos en resinas, metales, cerámica, elastómeros e incluso papel con precisiones de hasta 0.025 mm (Dürsteler).

Unos sistemas solidifican (sinterizan) polvo mediante un procedimiento similar al ya descrito, en el que el láser, en vez de polimerizar un líquido, fusiona el polvo, que generalmente es polímero, capa por capa. El ejemplo típico es el de los sistemas de "3d Systems" o "Stratasys", utilizado para este trabajo. La importancia de estos sistemas radica principalmente en que para ellos la propia naturaleza de este proceso capa a capa hace que la complejidad del objeto sea irrelevante ya que se pueden construir objetos con agujeros, entrantes y salientes prácticamente sin limitación. El tiempo de construcción se mide en unas pocas horas dependiendo del volumen del objeto. En el caso particular del estuche de CD, el tiempo de construcción fue de aproximadamente 5 horas y media, debido básicamente a la complejidad de la bandeja. Aunque es importante resaltar, que en este caso, cada una piezas se hizo por separado debido a que la máquina empleada no es la más sofisticada (Genisys XS), por lo que no separa el material base del soporte, así que con el estuche ensamblado sería muy complicado eliminar este material sobrante a mano. Dicho material sobrante lo coloca para no hacer cambios bruscos cuando pasa de una parte de la geometría a otra. El tiempo necesario para fabricar la tapa fue de una hora y media, para la bandeja de dos horas y cuarenta y siete minutos y para la base de una hora y dieciséis minutos.

Además, para un ingeniero que desarrolla piezas u objetos complejos es más fácil obtener mucha más información de su modelo teniéndolo en la mano y comprobando su comportamiento que simplemente viéndolo en una proyección sobre la pantalla de la computadora (Stratasys). En la figura 8 se pueden observar las tres piezas que conforman el estuche optimizado de CD propuesto en este estudio y su ensamblaje, realizado en Stratasys.

Específicamente con Stratasys lo que se hizo fue usar los archivos CAD de todas las piezas que conforman el estuche de CD en tres dimensiones transformados a archivos con terminación STL y se transformaron en piezas 3D que se pueden "tocar", fabricadas de la base hacia arriba. Para la creación de cada capa, el programa lee un archivo de datos de un sistema gráfico computarizado que controla el movimiento x-y del cabezal.

Para ello usó la tecnología conocida como FDM. Esta tecnología permite el uso de materiales no tóxicos como resinas de acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), policarbonato (PC), poliésteres, sulfonas y otros materiales para construir prototipos fuertes y duraderos incluso con completa funcionalidad. En algunos casos, dichas piezas llegan a tener altísima resistencia al calor e incluso resistencia química (Metalmecánica). Para el caso particular del mode-

lado del estuche de CD se utilizó un poliéster. Este polímero viene presentado en un cartucho. Dicho material se alimenta a un cabezal de extrusión, en donde se calienta ligeramente por encima de su punto de fusión (aproximadamente 360°C), y después se deposita sobre la

superficie existente de la parte que está siendo creada. Cuando este material fundido cae encima de la superficie de la pieza, se solidifica de inmediato, adheriéndose a la capa anterior.



Figura 8 Prototipo del estuche optimizado de CD y detalle de la tapa y la bandeja.

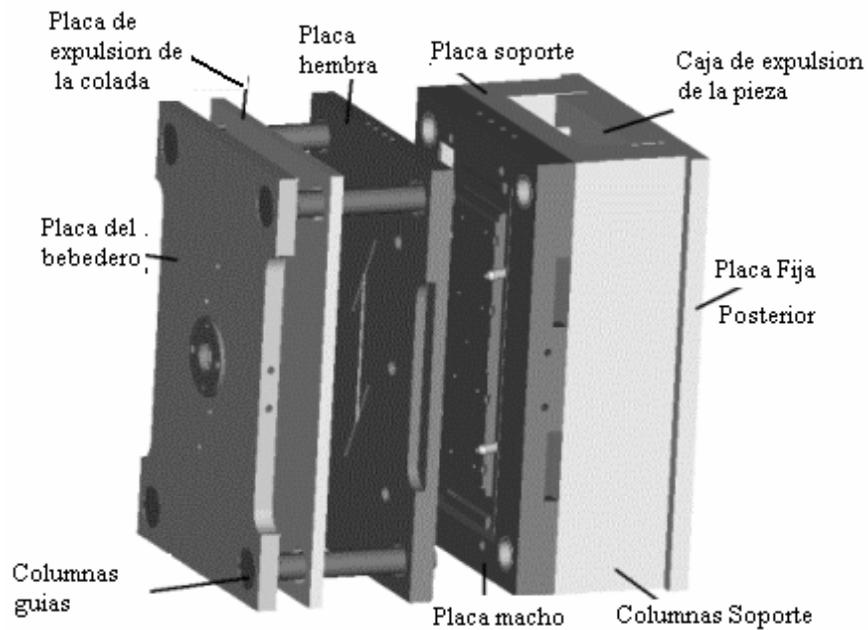


Figura 9: Molde de la tapa del estuche optimizado de CD.

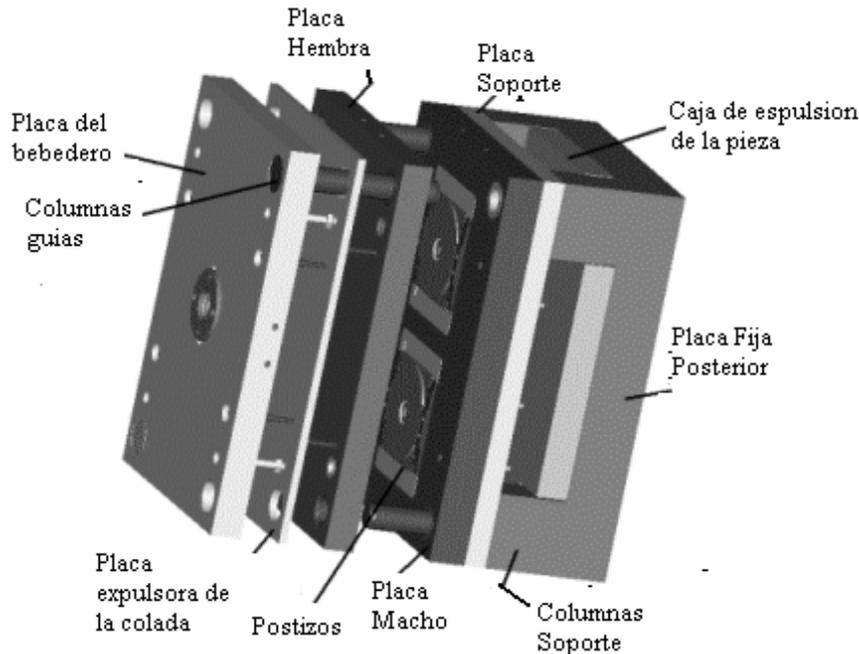


Figura 10: Molde de la bandeja del estuche optimizado de CD.

FDM es la tecnología más ampliamente usada de PR, después de la SLA. El proceso de FDM consiste en construir un prototipo por deposición semilíquida del material termoplástico, el cual es calentado y proyectado como filamento a través de una boquilla que se mueve en direcciones horizontales y verticales, que crea las sucesivas capas ultra finas para conformar los perímetros, contornos y el llenado. El filamento se va solidificando a medida que va perdiendo temperatura, generando capas, una arriba de otra, hasta que se logra el modelo que se ha dibujado. En el cabezal del FDM, el filamento del material es arrastrado por medio de ruedas, accionadas por un servomotor. El material pasa por una zona donde es calentado hasta alcanzar el estado semilíquido. Cuando sale de la boquilla es depositado y se une con las capas inferiores. En el controlador del proceso, la temperatura es regulada para ayudar al proceso de unión con las capas. La computadora le transmite a la máquina cada movimiento del cabezal y del fluido del material por medio de un cable, construyendo a la pieza desde la capa inferior hasta la capa superior, copiando todos los detalles geométricos de cada capa (Plásticos Universales). El tiempo de producción del prototipo y el costo depende de los detalles geométricos que tenga la pieza.

Entre las ventajas de utilizar FDM se encuentran la rapidez y la seguridad de la maquinaria empleada. Este equipo no utiliza materiales tóxicos, por lo tanto puede ser instalada en una oficina. El tiempo de producción es mucho más rápido que el de otras máquinas e incluso su costo es menor también. El mejoramiento de la calidad de la superficie del producto y la exactitud geométrica ha sido una preocupación mayor en el PR. La reducción en tiempo de producción

de la pieza y el aumento de la calidad de la superficie de la misma son dos factores que se contraponen entre sí, pero se logran con el método FDM (Pandey y colaboradores, 2003).

Seguidamente, se realizaron los moldes en el programa CAD para los tres moldes del estuche de CD quedando como se muestra a continuación en la figura 9 y 10. El molde de la base no se presenta porque es muy similar al de la tapa del estuche optimizado de CD.

A continuación, es sumamente sencillo obtener el código CNC utilizando herramientas CAM y llevarlos a una máquina de CN para producir los moldes. Al final es necesaria la validación experimental de los moldes, lo cual se pretende hacer en trabajo posterior.

Conclusiones

La integración de tecnología CAD/CAE/CAM/PR no solamente está referida a la fabricación de piezas incluyendo su dibujo, maquinado y tratamientos finales. La integración de estas tecnologías considera igualmente las características del proceso como complejidad de la geometría (punto de sujeción del estuche de CD), efectos de los parámetros de proceso (temperatura de fundido, presión de inyección, presión sostenida, tiempo de presión sostenida, tiempo de enfriamiento, etc), patrones de flujo de la pieza, defectos (punto de sujeción de la bandeja, bisagra de la tapa, fragilidad), etc, de forma tal de reducir los errores presentes durante la etapa de diseño.

Resultados importantes relacionados con el contracción, líneas de soldadura y problemas durante el llenado, enfriamiento o etapa de compactación pueden ser vistos ac-

tualmente con la simulación de los procesos por computadora CAE, cuando anteriormente solo eran visibles durante el momento de la inyección de las piezas.

Con el uso de herramientas CAD/CAE/CAM combinadas con PR se puede lograr un buen proceso de ingeniería concurrente para desarrollo y diseño de productos optimizados como el estuche de CD, a fin de lograr piezas y colocarlas al mercado en menor tiempo y a menor costo debido a la menor cantidad de material de desperdicio.

La técnica FDM es una buena herramienta para la producción de prototipos rápidos por la calidad que aporta a los productos. Algunos de estos prototipos son realizados simplemente como modelos de presentación y no poseen las mismas propiedades que el producto original, como el caso del estuche optimizado de CD comercializado en el mercado disquero.

Referencias

- Anguita R, 1975, Moldeo por inyección. Teoría y equipos, Editorial Blume, España.
- ASCAMM, El diseño industrial y el rapid prototyping, ASCAMM, España, 17.
- Bernhardt E, 1983, CAE computer aided engineering for injection molding, Hanser Publishers, USA.
- Brydson J, 1977, Materiales plásticos. Instituto del Plástico y Caucho, España.
- Bushko W y V Stokes, 1995, Polym. Eng. Sci., 35 (4), 365.
- Candal M, Morales R y González O, 2001, Analysis and design of a CD case using CAD/CAM/CAE software, PPS's Proceedings, s/p.
- Candal M, Morales R y González O, 2002(a), La gestión del mercadeo como una importante herramienta para la optimización de productos: caso de estudio, Revista Espacios.
- Candal M, Morales R y González O, 2002(b), Evaluación mecánica de un estuche de disco compacto. Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la UCV, JIFI.
- Candal M, Morales R y Grimaud R, 2004(a), Mold design optimization for security caps used in pharmaceutical industry. SPE's ANTEC Proceedings, s/p.
- Candal M, Morales R y González O, 2004(b). Aplicación de herramientas CAE para la evaluación mecánica de estuches para discos compactos, Revista de la Facultad de Ingeniería de la UCV (a publicar).
- Dürsteler J, Impresión 3D, Disponible: http://infovis.net/Revista/num_49.htm
- Egea V, Estado actual del mercado de prototipos rápidos y su problemática. Moldes, 44.
- Fundación BCD, 1985, El disseny a l'empresa. Fundació BCD, España, 25.
- González O, Candal M, Morales R y Villarroel S, 2003, A mold design methodology by using CAD/CAM/CAE tools. TMT2003, s/p.
- Ivárez J, La gestión del diseño en la empresa, 2000, Editorial McGraw Hill, Madrid, 123.
- Lafont P, 1999, Prototipado rápido e ingeniería inversa. Rev. Plas. Mod., 77 (514), 386.
- Lafont P, Suárez D, García G y Lorenzo H, 2000, Rapid tooling: moldes rápidos a partir de estereolitografía, Rev. Plas. Mod., 79 (534), 150.
- Manolis L, 2001, Prototipado rápido: una tecnología para agilizar el desarrollo de sus productos, Plas. Tech., Mayo, 16.
- Metalmecánica. Elaboración de prototipos. Disponible: <http://www.metalmecanica.com/53/Tecnologia.html>.
- Morales R, Marín A, Carao J y Alvizu A, 2001, CD case using a simulation software for injection molding processing. SPE's ANTEC Proceedings, 959.
- Pandey P, Reddy N, y Dhande S, 2003, Real time adaptive slicing for fused deposition modelling, Int. Journal of Machine Tools & Manufacture, 43 (1), 61.
- Plásticos Universales, Disponible: <http://www.plastunivers.es/noticias/default20010613.htm>.
- Richardson y Lokensgard. 2000. Industria del Plástico. Editorial Paraninfo, España.
- Sánchez M, Gordillo A y Martínez A, 1997, Diseño optimizado de piezas plásticas, Plásticos Universales.
- Schnarch A, 1998, Nuevo producto. Creatividad, innovación y marketing. 2^{da}. Ed., McGraw Hill Interamericana, Colombia.
- Stratasys, Disponible: <http://www.stratasys.com>
- Travaglini V, 1998, Optimizing part and mold design using CAE Technology. SPE's ANTEC Proceedings, 893.