

# CAD/CAM aplicado al prototipado y análisis cinemático de elementos de máquinas

MIGUEL ANGEL H. SALAZAR\*

## Resumen

En este artículo se presenta una experiencia en la enseñanza de herramientas CAD/CAM, aplicado al diseño de prototipos funcionales. El objetivo es estudiar diseños de mecanismos o subsistemas de máquinas, posteriormente la geometría de cada pieza se modela utilizando una herramienta computacional para CAD paramétrico, en la que es posible hacer ensambles y estudios cinemáticos. En seguida se eligen piezas susceptibles de ser construidas con máquinas herramientas CNC, los archivos CAD de dichas piezas se exportan a un paquete CAM, posteriormente se selecciona el método para programar el torno o la fresa CNC y finalmente se construyen las piezas en materiales poliméricos y el resto de piezas se construyen con herramientas convencionales. Finalmente se realiza un ensamble del prototipo con el fin de valorar las prestaciones mecánicas de los mecanismos o subsistemas de máquinas.

## Abstract

In the present work, computer tools for the design and manufacturing of a double cavity mold of a container were used. Initially the product was designed according to a client's specifications, using a Computer Aided Design (CAD) software. Later, a Computer Aided Manufacturing (CAM) software was used in order to define the cutting parameters and the tools for machining a given material. Finally, the double cavity mold was constructed in a machine shop and later assembled in a blower machine used for the production of plastic containers.



## Introducción

Expresar los conceptos de ingeniería en un lenguaje que permita comunicar las ideas de los ingenieros sin utilizar formulaciones matemáticas complejas, se ha convertido en un acto creativo para el ingeniero moderno. Por ejemplo, para un ingeniero es importante poder transformar los requerimientos de sus clientes en requerimientos de ingeniería o lenguaje técnico y retransmitírselos de nuevo, como para este caso en forma de prototipos.

\* Ingeniero Mecánico, MSC. Docente Corporación Universitaria Autónoma de Occidente, Cali-Colombia.

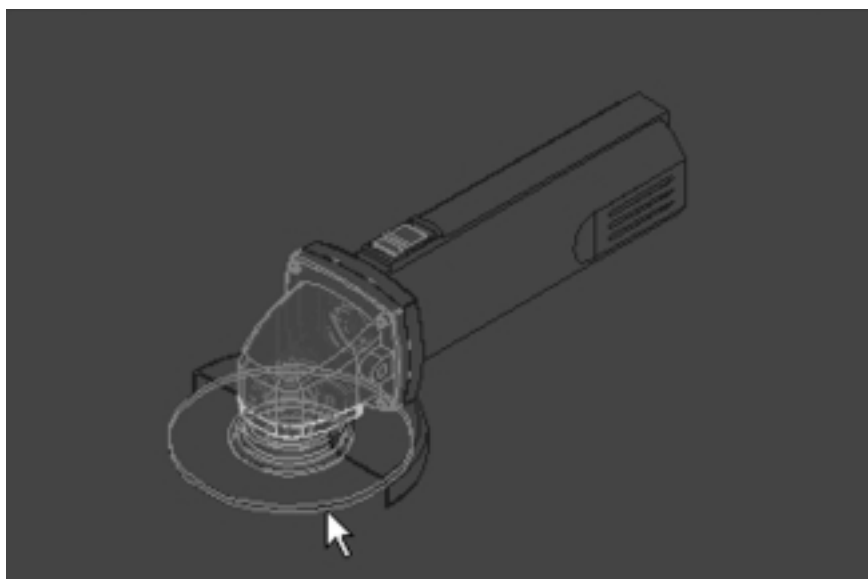
Definiendo prototipo en general y para esta metodología, como una aproximación física de la pieza o producto que todavía no se ha construido o desarrollado. El objetivo de este estudio es construir prototipos de objetos técnicos con los requerimientos mínimos cinemáticos. Se denomina como “objeto técnico” a un conjunto de piezas que ensambladas forman mecanismos y cumplen con una función específica. Todo objeto técnico se caracteriza por tener dos tipos de piezas: piezas móviles y piezas estáticas, las anteriores se clasifican y en el método tienen un rango de importancia que depende de la función para la que fueron diseñadas.

En general el concepto de prototipo es extensible para otras disciplinas. Por ejemplo, para un diseñador industrial es producir prototipos de sus conceptos, un desarrollador de software escribe prototipos de sus programas, y un ingeniero realiza prototipos de un diseño.<sup>1,2</sup>

Para el desarrollo completo de esta metodología la Corporación Universitaria Autónoma de Occidente cuenta con un laboratorio que consta de máquinas herramientas de control numérico computarizado, torno y fresa, mesa de coordenadas, herramientas convencionales y una sala de cómputo dotada con software para CAD paramétrico y CAM.

### Análisis de objetos técnicos<sup>3</sup>

Para la metodología es importante seguir algunos pasos que permitan estudiar objetos técnicos, comprender mejor los mecanismos y/o elementos de máquinas que se quieren estudiar. Para ampliar lo anterior y dar una explicación resumida de lo que se puede lograr, a continuación se citan algunos conceptos que siendo estrictos se deben tener en cuenta antes de entrar en el CAD/CAM para prototipado:



- Descripción del objeto como operador: En esta fase del trabajo el estudiante analiza el objeto en su conjunto, considerándolo globalmente como un operador, asume el objeto como una “caja negra” de la que sólo importa saber para qué sirve.
- Descripción anatómica del objeto: Se realiza una disección o desarme del objeto hasta donde es posible y se observa minuciosamente. Con lo anterior se trata de descubrir el más mínimo detalle de su estructura interna y externa: ¿que forma tiene?, ¿cómo son sus piezas?, ¿cuáles son sus dimensiones relativas?, ¿cómo están ensambladas unas a otras?
- Análisis funcional: En este punto se estudia y describe minuciosamente cómo funciona el objeto, qué sucesión lógica de causas o efectos encadenados hace posible que el objeto cumpla su función global.
- Análisis técnico y constructivo: Se conoce la fabricación del objeto, los materiales elegidos, las herramientas empleadas, la forma que se ha dado a cada pieza y los problemas que plantean su ensamblaje e instalación.
- Análisis sistemático: Para conocer un objeto completamente no sólo es necesario desmenuzarlo y estudiarlo minuciosamente, pieza a pieza, como ya hemos hablado, también es necesario saber como se utiliza.
- Análisis históricos: Todo objeto técnico nace para tratar de solucionar una necesidad o un problema existente, para finalmente cumplir con ciertos requerimientos. Por estas razones se considera importante aclarar estos conceptos y estudiar la razón por la cual ese objeto ha sido diseñado y fabricado. Se estudia cual es el origen del objeto, la necesidad que trata de satisfacer y la evolución histórica de las soluciones que se han aplicado a esa necesidad.

Los pasos anteriores describen el trabajo conceptual de la primera etapa de la metodología. Al finalizar el análisis de objetos técnicos (ver Figura 1). Los estudiantes seleccionan las piezas que se deben modelar para ser construidas con máquinas herramientas CNC o con herramientas convencionales. A continuación se citan algunos de los conceptos que el estudiante debe conocer en lo referente a una herramienta CAD.

## CAD para prototipos funcionales<sup>4</sup>

Con las herramientas para dibujo asistido por computador (CAD), de acuerdo con su origen histórico, o diseño asistido por computador, considerando los aspectos creativos con esta herramienta de diseño, se puede proyectar el diseño de elementos de máquina en conceptos de CAD, 2D, 2<sup>1/2</sup>D y 3D. Esta herramienta permite aproximar y asegurar el funcionamiento correcto de un diseño antes de su construcción, creando un modelo virtual del sistema mecánico y verificando el correcto funcionamiento, definiendo las restricciones de movimiento y contactos del mismo antes de pasar a la siguiente etapa del proceso. A continuación se amplían los conceptos CAD que posteriormente el estudiante los necesita para trabajar con una herramienta CAM.

### CAD 2D

Un sistema CAD de dos dimensiones permite dibujar a través de proyecciones, para este caso en particular es de importancia que el CAD 2D permite obtener perfiles, planos clásicos del dibujo en ingeniería, y al tiempo exportar archi-

vos para posterior uso en CAM.

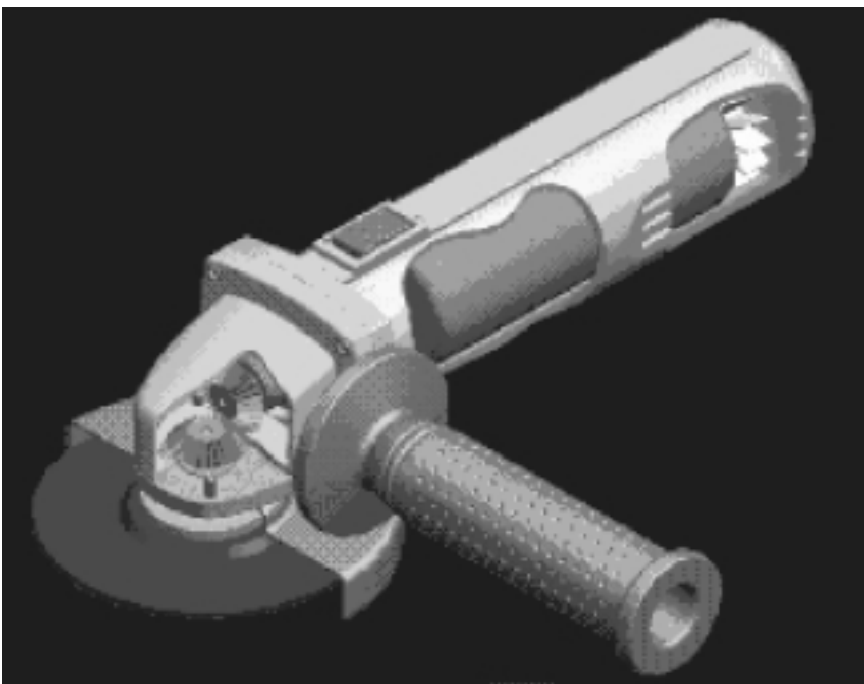
### CAD 21/2 D

La información de la intersección de un modelo 3D con un plano se puede llamar corte. El volumen entre dos cortes paralelos se llama capa o nivel. La representación de modelos en 21/2 D es la suma total de las capas. Los planos de corte son paralelos en el plano XY y la construcción del volumen se asume en la dirección Z. En resumen, se lo puede definir como el volumen obtenido sólo por la extrusión de un perfil plano; ejemplos de geometría 21/2 D son, sucesivos niveles de planos 2D o diseño de objetos con simetría de revolución. Esta definición posteriormente es utilizada en conceptos aplicados al CAM y CNC.

### CAD 3D

Se trata del uso de las herramientas propias del CAD para 3D como es el trabajo con superficies. El alcance en 3D depende del rango del CAD que se utilice. Para este estudio se trabajó con un CAD paramétrico de rango medio que trae incorporada una herramienta de simulación cinemática que permite realizar una simulación de movimientos en mecanismos (ensamble). Esta herramienta se puede utilizar para generar animaciones, estudios virtuales o para comprobar la existencia de interferencias.

En la Figura 1 se puede observar que tanto las piezas para maquinado CNC como las de construcción con herramientas convencionales son modeladas en CAD, lo cual permite hacer un ensamble dentro del CAD, y posteriormente con la ayuda de una herramienta para análisis cinemático se realiza un estudio del ensamble. La finalidad de este estudio es verificar que los modelos geométricos cumplan las prestaciones mecánicas para las que fueron diseñados; se verifica que no haya interferencias y también se pueden



realizar cálculos clásicos como el momento de inercia, volúmenes, áreas, peso, etc. También existen herramientas CAE que son mucho más estrictas en lo referente al comportamiento cinemático y cinético de un mecanismo. Para el caso de obtener prototipos funcionales es suficiente con la herramienta de análisis cinemático, ya que ella cumple a cabalidad con el objetivo de mostrar las prestaciones mecánicas de los prototipos. Terminada esta etapa se tiene un listado de piezas para trabajar en CAM y otro para trabajar con herramientas convencionales, al final como se ve en la Figura 1 los dos convergen al ensamble del prototipo funcional.

### Prototipado

Una parte esencial en este estudio es la etapa de prototipado, y de hecho la de más relevancia. El prototipado modela el producto final y permite efectuar una prueba sobre determinados atributos del mismo sin necesidad de que esté disponible en su totalidad. Se trata, simplemente, de probar haciendo uso del modelo, para analizar la funcionalidad y posibilidades de modificación. En muchas ocasiones se dirá que cuanto más próximo se encuentre el prototipo al producto real, mejor será la evaluación.

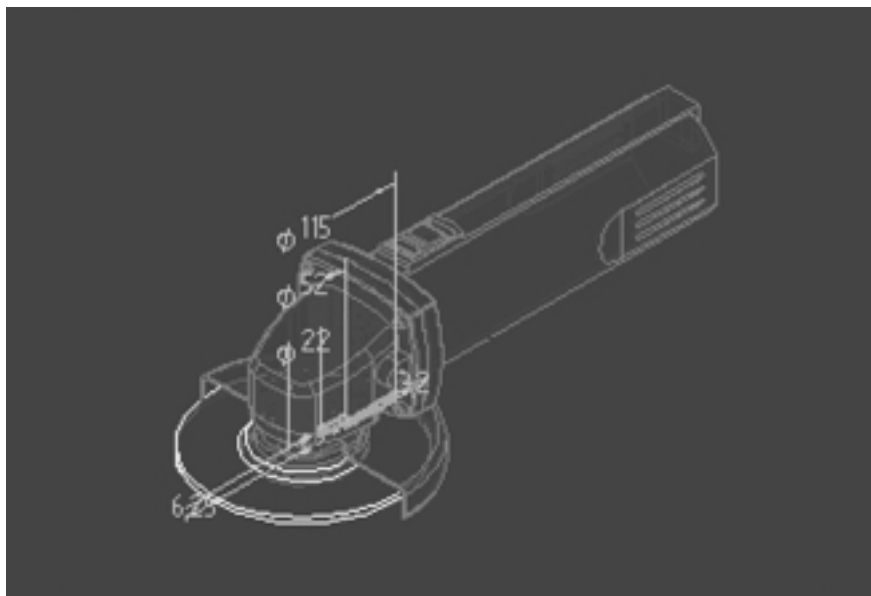
Los prototipos se pueden dividir en tres grupos:<sup>5</sup>

#### *Geométrico*

Para este caso reúne conceptos CAD, y se caracteriza por la facilidad de tener cualquier propiedad en sus materiales; con estos prototipos es posible hacer cálculos menores de diseño, tales como peso, áreas, momentos de inercia, centros de masa, y finalmente análisis cinemáticos.

#### *Funcional*

Para el desarrollo de esta metodología se incluyó el prototipa-



do CAD/CAM utilizando máquinas CNC; es importante aclarar que esta teoría está enfocada al prototipado rápido (RP) y se pueden construir con las tecnología para RP. El objetivo es conseguir un prototipo funcional, que se debe caracterizar por una buena aproximación de las prestaciones mecánicas del objeto. Estas propiedades deben cumplir los mínimos requerimientos cinemáticos.

Para ampliar y diferenciar los anteriores conceptos, en lo referente a tecnología y principio de funcionamiento de las máquinas herramientas de CNC y máquinas para prototipado rápido, se presenta un resumen de lo que actualmente se conoce como prototipado rápido (RP), esto debido a que para el desarrollo de esta metodología se trabaja con máquinas herramientas de CNC y se consideran importantes, los dos conceptos.

#### *Prototipado Rápido (RP)<sup>6,7</sup>*

Se le llama RP a una serie de tecnologías distintas de construcción de piezas o modelos. En consecuencia estas tecnologías se centran en el corte de secciones horizontales paralelas de piezas representadas por un modelo CAD. En general esos cortes y superposición de capas horizontales son la esen-

cia de todas las tecnologías de RP, entre estas tecnologías están:

**FOTOPOLIMERIZACIÓN POR LUZ UV (SGC):** Esta tecnología se basa en la *solidificación de un fotopolímero o resina fotosensible*. En la fotopolimerización, sin embargo, se irradia con una lámpara de UV de gran potencia todos los puntos de la sección simultáneamente.

**SINTERIZACIÓN SELECTIVA LÁSER (SLS):** Se deposita una capa de polvo, de unas décimas de mm en una cuba que se ha calentado a una temperatura ligeramente inferior al unto de fusión del polvo. Seguidamente un láser CO<sub>2</sub> sinteriza el polvo en los puntos seleccionados.

**ESTEREOLITOGRAFÍA (STL):** Emplea un láser UV que se proyecta sobre un baño de resina fotosensible líquida para polimerizarla.

**PROYECCIÓN AGLUTINANTE (DSPC):** Esta tecnología trabaja mediante la deposición de material en polvo en capas y la ligazón selectiva del mismo mediante la impresión de "chorro de tinta" de un material aglutinante.

**DEPOSICIÓN DE HILO FUNDIDO (FDM):** Una boquilla que se mueve en el plano XY horizontal deposita un hilo de material a 1°C por debajo de su punto de fusión.

Este hilo solidifica inmediatamente sobre la capa precedente.

**FABRICACIÓN POR CORTE Y LAMINADO (LOM):** Una hoja de papel encolado se posiciona automáticamente sobre una plataforma y se prensa con un rodillo caliente que la adhiere a la hoja precedente.

En general, y cuando se requiere la fabricación de precisión y se valoran más las prestaciones mecánicas del modelo (prototipos funcionales), se prefiere el sinterizado, que ofrece más variedad de materiales como las resinas fotosensibles, materiales termofusibles, metales, cerámica y papel plastificado.<sup>5,6</sup>

Conocidas las anteriores en el desarrollo de la técnica RP, dentro de la denominación de “prototipado rápido”, por principio de funcionamiento de esta tecnología no se incluye al mecanizado por CNC.

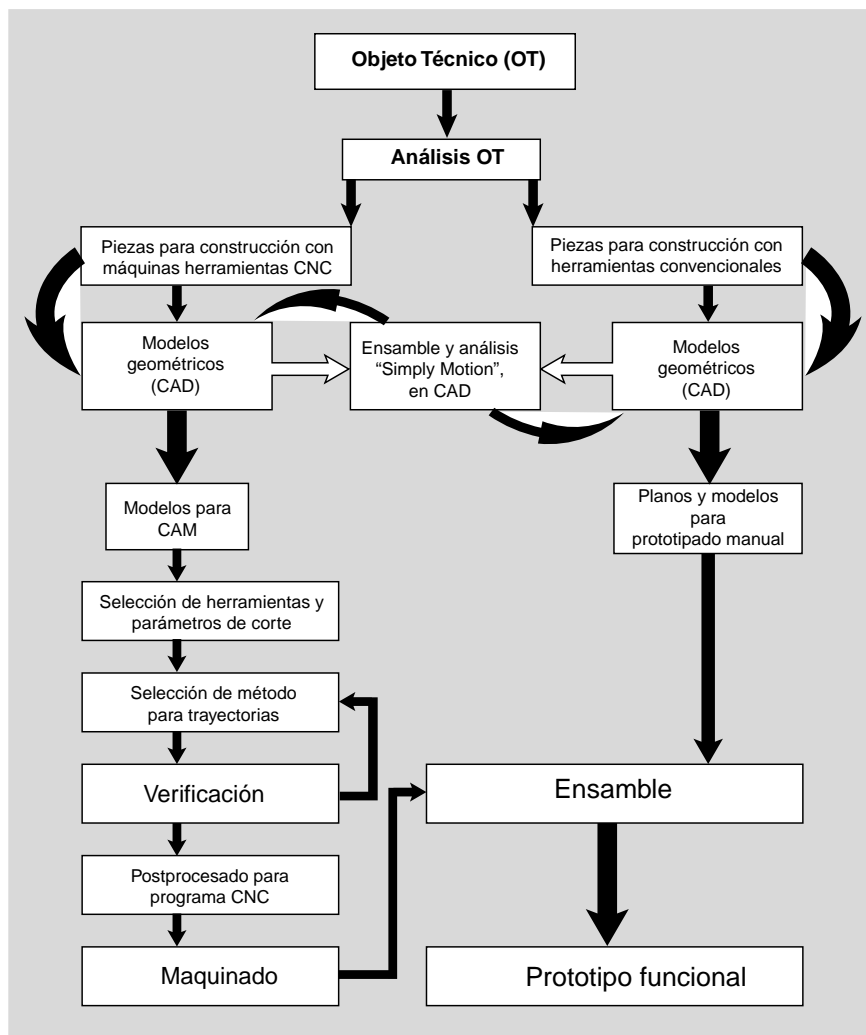
#### *Prototipos técnicos y preseries*

Estos prototipos son fabricados en una fase avanzada de diseño, ya que deben permitir un análisis completo por la similitud al producto o diseño final, se construyen en materiales similares al producto final; el que es llamado preserie se considera idéntico al diseño y el prototipo permite evaluar todos los requerimientos para los que fue construido.

Algunos de los tipos de prototipos anteriormente mencionados han sido consecuencia de la tecnología, y pueden ser tangibles, como en este caso; estos prototipos se convierten en una buena aproximación de lo que sería el diseño final y se pueden usar para demostración funcional de las prestaciones mecánicas de los objetos e incluso experimental, como en los prototipos técnicos y el preseries.

#### **Prototipado CAD/CAM y fresado CNC<sup>8,9</sup>**

Es importante recordar que una máquina CNC está diseñada para



**Figura 1.** Cuadro sinóptico, metodología para la aplicación de conceptos CAD/CAM al prototipado y análisis cinemático de elementos de máquinas.

producción de grandes y medianas series de piezas, la anterior información es clara para el estudiante, y se toman las máquinas de CNC como para tecnología de RP.

Un objetivo relevante en el prototipado es obtener la pieza sin diseñar ni construir los útiles para su fabricación; como sería el caso para piezas plásticas obtenidas con el proceso de inyección, se tiene el prototipo sin construir los moldes.

Entre las ventajas para esta metodología están:

El sistema es capaz de cortar una variedad de materiales, permitiendo bajar costos en los prototipos; entre los metales están el alu-

minio, el latón, el cobre, el bronce; entre los plásticos el PVC, el poliestireno, el poliuretano y también el uso de maderas; al tiempo proporciona una alta precisión de corte y es capaz de adaptarse a una infinidad de geometrías. Estas son las ventajas de esta tecnología para enseñanza aprendizaje. En trabajos de tipo industrial, las ventajas serían aún mayores.

Es posible trabajar esta tecnología con estudiantes que tienen los conocimientos mínimos en operación de máquinas herramientas, para esto se considera en el desarrollo de los prototipos trabajar con materiales poliméricos o metales blandos, como el nylon o el alumi-

nio. Por otro lado, la instrucción previa que se imparte empieza desde el término control numérico y finaliza con la operación de las máquinas para obtener los prototipos.

Los conceptos que el estudiante debe conocer y comprender se resumen en los siguientes párrafos:

El Control Numérico (CN) permite a un operador comunicarse con la máquina herramienta por medio de serie de números y símbolos que finalmente son las instrucciones de trabajo para la máquina. Al incorporar una computadora personal al CN se da paso a un nuevo concepto, el control numérico computarizado (CNC), y aparecen los sistemas de diseño asistidos por computador CAD/CAM que permiten diseños rápidos, con precisión y serie de piezas técnicamente iguales, sin ninguna intervención manual en el proceso de maquinado de piezas, ninguna leva ni interruptor de tope mecánico para diferentes etapas del proceso, desplazamiento automático de varios ejes simultáneamente y exactamente definibles, cambio rápido de herramienta, avance y velocidad de giro, y programas de maquinado de piezas rápidamente memorizables.

El estudiante aprende aplicando el CAD/CAM para prototipos, el cual le permite desarrollar ciertas habilidades en la elaboración de prototipos funcionales. Para programar y operar máquinas herramienta de control numérico computarizado se trabaja aplicando conceptos en CAD/CAM 2D, 2 D y 3D; estos diseños CAD/CAM los vuelve prototipos funcionales que previamente eran geométricos y gracias al CAD paramétrico se pueden analizar antes de programar los recorridos de las máquinas en un CAM. El software CAD/CAM genera fácilmente el programa para recorridos sobre superficies, contornos, etc. Para el estudiante se convierte en una herra-

mienta amigable y de fácil aprendizaje, lo que para una empresa se vería como una herramienta que ayuda a optimizar la reducción en el tiempo de diseño y fabricación de piezas, moldes, etc. Como se explicó anteriormente, los conceptos de CAD 2D, 2 D y 3D se hacen extensibles al CAM. Por ejemplo: para el caso de Fresado 2 D las operaciones son el refrentado, cavidades, perfiles, agujeros, ranurado. Con el CAD/CAM el estudiante es capaz de diseñar la pieza y preparar el dibujo o plano para producir el programa CNC, simular el recorrido de corte de la herramienta y chequear virtualmente los errores en el maquinado, todo esto vinculando librerías de herramientas y materiales para posteriormente realizar cálculos de velocidades y aproximar el tiempo de maquinado.<sup>10,11</sup>

En la Figura 1 se describen las diferentes etapas a seguir en el desarrollo de la metodología para la construcción de prototipos funcionales. La zona enmarcada en el cuadro punteado está relacionada con la metodología conceptual. Se podría considerar en esta zona la integración con el proceso de diseño, QFD (despliegue de la función de calidad), etc. De hecho, se toman algunos apuntes en lo referente a requerimientos. Los demás muestran la parte operativa, manejo de máquinas y otra serie de conceptos implícitos en cada uno de los pasos.

Si se incluyera tecnología RP en esta metodología, toda la zona que está relacionada con CNC sería innecesaria, se reemplaza por un salto entre los archivos CAD y el prototipado en la máquina para RP.

### Conclusiones

A través de la metodología para construir prototipos funcionales el estudiante desarrolla destrezas en manejo operativo de máquinas CNC y software CAD/CAM.

Por ejemplo, si las prestaciones mecánicas del objeto técnico para analizar están sujetas a fabricar prototipos de piñones rectos, el estudiante aplica sus conocimientos en mecanismos o diseño de máquinas y finalmente puede fabricar el prototipo de la pieza. Como el diseño está sujeto sólo a prestaciones mecánicas, se podrían valorar las relaciones de velocidad y todo lo referente a la funcionalidad del tren de engranes. ❁

### Bibliografía

1. Kevin N. Otto, Kristin L. Wood. Product Design.
2. Kevin N. Otto, Kristin L. Wood. Product Evolution: A Reverse Engineering and Redesign Methodology.
3. Proyecto Pedagógico convenio Sena-Mondragón.
4. Michael F. Hordiski. CAD/CAM Techniques.
5. Karl-Heinz Dusel. Materials for Rapid Tooling Techniques. Rapid Prototyping & Manufacturing '97 conference April 22-24, 1997.
6. Matthew Defosse. Rapid prototyping. Starts to tackle End-Parts. April 2002. Modern Plastics.
7. [www.weissdesign.com](http://www.weissdesign.com)
8. Jorge Iván Guerra y Carlos Armando Forero, Vigilancia tecnológica de las tecnologías CAD/CAM, Centro de Desarrollo Tecnológico Colombo-Italiano SENA.
9. Phillip F. Ostwald, Jairo Muñoz. Manufacturing. Processes and System. Ninth Edition.
10. James Madison. CNC Machining Handbook. Industrial Press Inc. First Edition, 1996.
11. Steve Krar, Arthur Gill, Peter Smid. Computer Numerical Control Simplified.