

## Tema 2

# Introducción a los Sistemas CAD/CAM/CAE

El término CAD proviene del acrónimo inglés *Computer Aided Design*, que se traduce como Diseño Asistido por Computador (DAC), o Diseño Asistido por Ordenador (DAO), aunque el acrónimo inglés es el más utilizado. En un sentido amplio, podemos entender el CAD como la aplicación de tecnologías de la información y de la comunicación al proceso de diseño.

## 2.1 – El Proceso Clásico de Diseño

Antes de describir y entender cómo funcionan los sistemas CAD, es conveniente recordar cómo se desarrolla habitualmente el proceso de diseño.

El diseño se define habitualmente como la actividad técnica y creativa encaminada a idear objetos útiles y/o estéticos que pueden llegar a producirse en serie.

Etimológicamente, el término proviene de la palabra italiana *disegno*, cuyo origen latino se remonta al verbo *designare* (derivado de la palabra *signum* (señal, símbolo)), que podríamos traducir como “marcar con un signo”, o “representar simbólicamente” algo con un signo. En italiano, esta representación se especializó en la idea de dibujar, de ahí que el término *disegno* signifique “bosquejo” o “dibujo esquemático” de algo. En otras lenguas como el español, el término diseño tiene también una amplia connotación gráfica, pero no se limita sólo al dibujo.

Podemos pensar en el diseño como el proceso por el cual se traza o delinea la concepción futura de una figura, un edificio o un objeto. En nuestro contexto, emplearemos el término para caracterizar la representación gráfica de una idea, ente, objeto, máquina, o cualquier estructura, proceso o sistema susceptible de ser representado simbólicamente.

Aunque este proceso puede variar significativamente de un área de aplicación a otra, podemos distinguir en él una serie de elementos o pasos comunes. El proceso de diseño es

habitualmente un proceso iterativo, con una serie de pasos secuenciales que listamos a continuación. Sin embargo, algunas veces es necesario volver al paso anterior para realizar modificaciones, o incluso recomenzar el proceso desde el principio si se detectan fallos o incumplimientos graves de los objetivos iniciales. Es por tanto, un proceso iterativo cíclico.

Los pasos típicos del proceso clásico de diseño son los siguientes:

·*Definición*. Consiste en especificar las propiedades y características relevantes del sistema que se desea diseñar.

·*Modelado*. Es probablemente el paso más relevante del proceso de diseño. Consiste en crear un modelo del sistema/elemento/proceso a diseñar, que represente y satisfaga las necesidades y especificaciones requeridas. Es el ingeniero el que debe realizar la modelización, utilizando modelos existentes o basándose en técnicas de modelado conocidas para crear un nuevo modelo.

·*Dibujos de detalle*. En la mayor parte de casos, es posible representar los objetos o estructuras que se desean fabricar mediante algún tipo de representación gráfica, que se emplea como descripción del elemento a construir. Estos planos deben poseer el detalle suficiente como para que su construcción sea realizable y no se presenten ambigüedades. Por ese motivo, antes de pasar al proceso de construcción, se debe generar una cantidad importante de planos (o descripciones gráficas en general) que sirvan para describir el modelo con el suficiente detalle como para permitir la fabricación de prototipos con los que validar el diseño. En algunos casos, este paso puede suponer un porcentaje importante del esfuerzo de diseño.

·*Elaboración de prototipos*. Muchas veces, cuando los objetos diseñados han sido pensados para someterse a un proceso de fabricación en cadena, es habitual construir o fabricar previamente prototipos antes de iniciar la cadena de montaje. Los prototipos proporcionan varias ventajas, ya que permiten detectar errores en el modelo, o visualizar mejoras aplicables al producto final antes de que comience la producción en cadena. Los prototipos no tienen que ser necesariamente un ejemplar completo del elemento a fabricar, pudiendo utilizarse únicamente para validar determinadas partes o propiedades. Algunas veces se utilizan prototipos con elementos que no se fabrican en serie, como en ingeniería civil o arquitectura. En estos casos, los prototipos sirven como demostración visual, para estudiar la resistencia de los materiales o para analizar algunas propiedades físicas como la resistencia aerodinámica.

·*Pruebas.* Tras la construcción de un prototipo, se suelen realizar pruebas sobre él para validar el modelo. Las pruebas pueden ser de muy diverso tipo según el campo de aplicación. Si no se aprecian fallos en el prototipo, se valida el modelo para, dado el caso, construirlo, posiblemente en serie. Por el contrario, si se detectan fallos o elementos mejorables, se suele volver al paso de modelado, o incluso al de definición si el problema es severo.

·*Documentación.* Una vez validado el diseño se pasa a documentarlo. La documentación debe contener la información suficiente como para poder abordar la construcción del sistema sin necesidad de buscar otro tipo de información. La documentación puede estar formada por información muy diversa, como la descripción del sistema y de sus componentes, esquemas de instalación, de montaje, de uso, listas de componentes, etc.

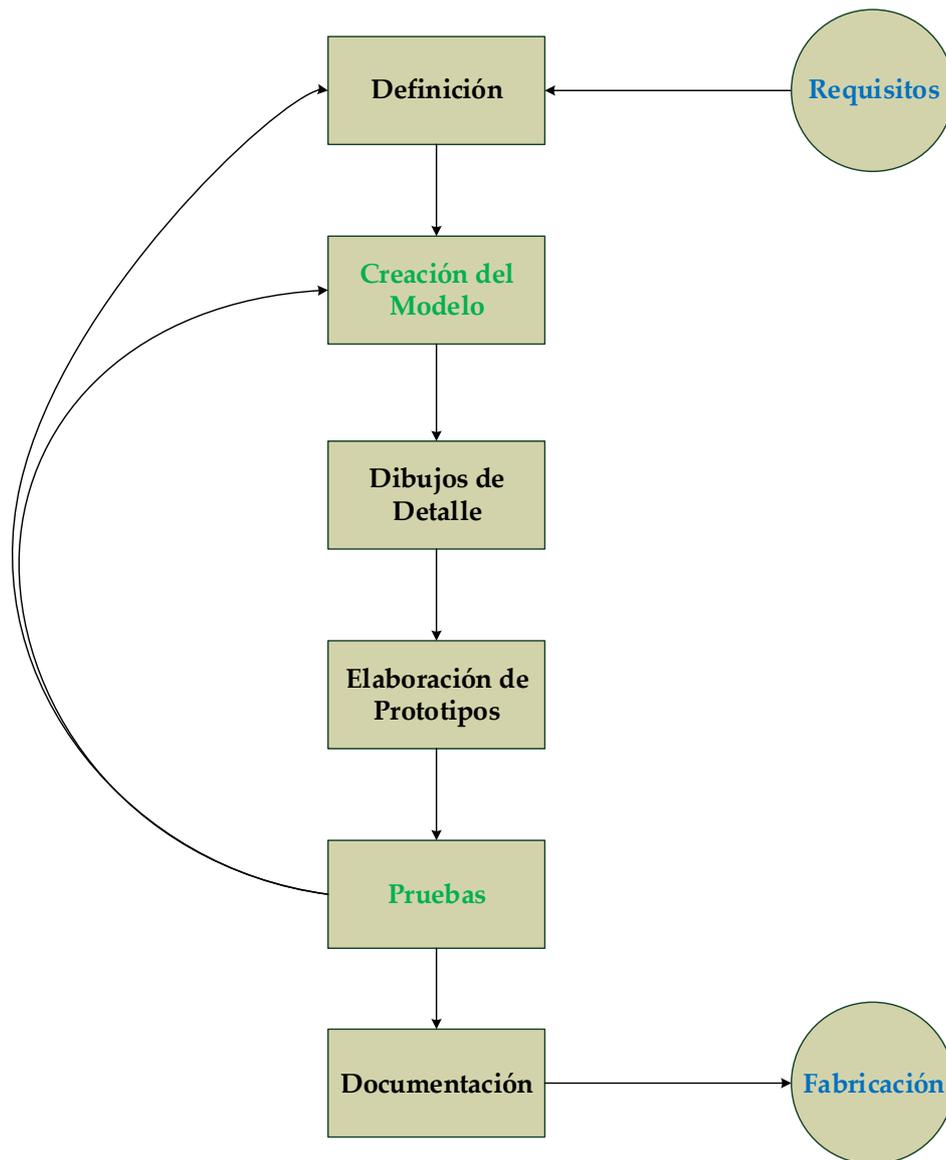


Figura 2.1 – El proceso clásico de diseño.

## 2.2 – Tipos y Aplicaciones de los Sistemas CAD

El citado proceso de diseño puede acelerarse mediante el uso de herramientas informáticas que faciliten las diversas fases (modelado, prototipado, pruebas, etc.). Cuando esto ocurre, se dice que tenemos un sistema de diseño asistido por computador, es decir, un sistema CAD.

Si el proceso de diseño se apoya en herramientas informáticas que permiten la fabricación de las piezas diseñadas, se habla entonces de CAM (*Computer Aided Manufacturing*). Cuando las herramientas informáticas se utilizan para ayudar (o sustituir) a

las tareas de análisis de algunos procesos de ingeniería, se habla de CAE (*Computer Aided Engineering*). Ejemplos de CAE serían las herramientas capaces de calcular estructuras, analizar la durabilidad de piezas, o calcular la resistencia aerodinámica o hidrodinámica de un objeto.

Normalmente, un diseño o modelo es necesario previamente para fabricar o analizar los objetos, por lo que un sistema CAD es casi siempre necesario para realizar CAM o CAE. Es por ello que muchas veces se habla de CAD/CAM o CAD/CAE, aunque algunas veces se habla de sistemas CAD para referirse a los tres conceptos.

Los sistemas CAD/CAM/CAE se pueden emplear en prácticamente todos los campos de la ingeniería. El ejemplo más conocido es el del dibujo técnico y la arquitectura, donde destaca el programa AutoCAD, pero también podemos ver sistemas CAD/CAM/CAE en ingeniería civil, en el diseño y fabricación industrial (CATIA, PRO/ENGINEERING), en física, sobre todo para el análisis cinemático de objetos dentro de fluidos (CFD – *Computational Fluid Dynamics*), en sistemas de información geográfica y cartográfica (sistemas GIS), en ingeniería eléctrica y electrónica para la fabricación de placas base y el diseño de circuitos integrados, en química, biología, medicina, etc.

La importancia de los sistemas CAD en la actualidad es tal, que sin la ayuda de estas aplicaciones, los masivos niveles producción industrial actuales serían imposibles, y los procesos de diseño se detendrían.

## 2.3 – Historia de las Aplicaciones CAD

Es difícil establecer cuál fue el primer sistema CAD, pero se puede afirmar que los primeros sistemas CAD datan de la década de 1950. En este sentido podemos citar el sistema SAGE (*Semi Automatic Ground Environment*), que era un sistema de defensa área empleado para visualizar datos de radar, realizado por el ejército de los EE.UU. en colaboración con el MIT (*Massachusetts Institute of Technology*). Precisamente en el MIT aparece por primera vez el término “diseño asistido por ordenador” en un proyecto titulado “*Computer-aided design project*” de 1959.

En aquella época ya se había comenzado a trabajar en la utilización de sistemas informáticos en el diseño de piezas, fundamentalmente con curvas y superficies. En la industria automovilística, naval y aeronáutica resultaba crucial ser capaz de realizar diseños con superficies curvas, cosa que se simplificaba haciendo uso de herramientas informáticas

que realizaban las superficies instanciando superficies conocidas fácilmente representables, como círculos, cilindros, conos o elipses.

También en el MIT, en 1962, Ivan Sutherland desarrolla durante la elaboración de su tesis doctoral el sistema *Sketchpad*, publicado en su trabajo “*Sketchpad, a man-machine graphical communication system*”, un sistema revolucionario para la época. Con ello establece las bases de lo que conocemos como sistemas gráficos interactivos por ordenador. Sutherland propuso la idea de utilizar un teclado y un lápiz óptico para seleccionar, situar y dibujar conjuntamente con una imagen representada en la pantalla.



Figura 2.2 – Ivan Sutherland y su sistema *Sketchpad*.

Reseñables son también los trabajos de Paul De Casteljaou que, en torno a 1958, desarrolló, en la compañía Citroën, un método recursivo para el diseño de curvas y superficies basado en el uso de polinomios de Bernstein. Sus trabajos, no obstante, no fueron publicados hasta 1974. Paralelamente, y de forma independiente, Pierre Bézier, trabajando para Renault, desarrolló la forma explícita del mismo método de diseño, que

hoy se conoce como método de Bézier. Estos trabajos permitieron la incorporación a los programas CAD de curvas y superficies no instanciadas a partir de curvas conocidas.

En los últimos años de la década de 1960, y sobre a todo a partir de los años 70, los primeros productos CAD empiezan a comercializarse, casi siempre en entornos corporativos; el desarrollo se inició sobre todo en la industria aeronáutica y automovilística. Los precios de estos primeros sistemas CAD comerciales eran aún absolutamente prohibitivos (en torno al millón de dólares americanos).

En la década de 1980 es cuando empieza la difusión global de los sistemas CAD. En 1982 se crea AutoCAD, software de dibujo técnico que pretendía que el CAD llegara a los consumidores a un precio “reducido” (unos \$1.000). Aunque la primera versión no fue un éxito, en los años venideros las sucesivas versiones (especialmente a raíz de la popularización del IBM PC) convirtieron a AutoCAD en el programa CAD por excelencia. Hoy sigue siendo el más conocido y utilizado en todo el mundo.

A partir de ahí, gracias a la mejora de las prestaciones de los computadores, y al avance de la informática gráfica, fue posible dotar a los programas CAD de mucha mayor resolución, realismo e interactividad, permitiendo representar y almacenar piezas en 3D de forma rápida. Paquetes CAD como CATIA, 3D Studio, Solid Works, Solid Edge, SketchUp, etc. son de uso habitual y de conocimiento imprescindible para los ingenieros actuales, dado que actualmente la manera de modelizar y representar información en la ingeniería es, en casi todas las especialidades, mediante el uso de programas CAD.

## 2.4 – Elementos de un Sistema CAD

Una herramienta CAD es un sistema software que aborda la automatización global del proceso de diseño de un determinado tipo de objeto o ente. Esto descarta como sistemas CAD a las aplicaciones que inciden sólo en algún aspecto muy concreto del proceso de diseño.

Los medios informáticos se pueden emplear en la mayor parte de las fases del proceso de diseño, siendo el dibujo el punto en el que más se han empleado. El éxito o fracaso de un sistema CAD radica en permitir la reducción del tiempo invertido en el ciclo de diseño y/o aumentar la calidad del resultado final. Esto se consigue fundamentalmente por el uso de sistemas gráficos interactivos, que permiten realizar las modificaciones en el modelo y observar inmediatamente los cambios producidos en el diseño.

En los sistemas CAD es esencial obtener una buena representación del modelo. Esto posibilita simplificar la generación de documentación y dibujos de detalle, pero permite, sobre todo, la utilización de métodos numéricos para realizar simulaciones, o incluso pruebas que sustituyan a la construcción de prototipos.

Esto es de una importancia vital en la ingeniería porque el ciclo de diseño clásico se ve modificado (y mejorado) cuando se emplea un sistema CAD, ya que se incluye una etapa de simulación entre la fase de creación del modelo y la fase de generación de bocetos. Esta pequeña modificación supone una reducción importante en la duración del proceso de diseño, ya que permite adelantar el momento en que se detectan algunos errores de diseño, con el consiguiente ahorro económico.

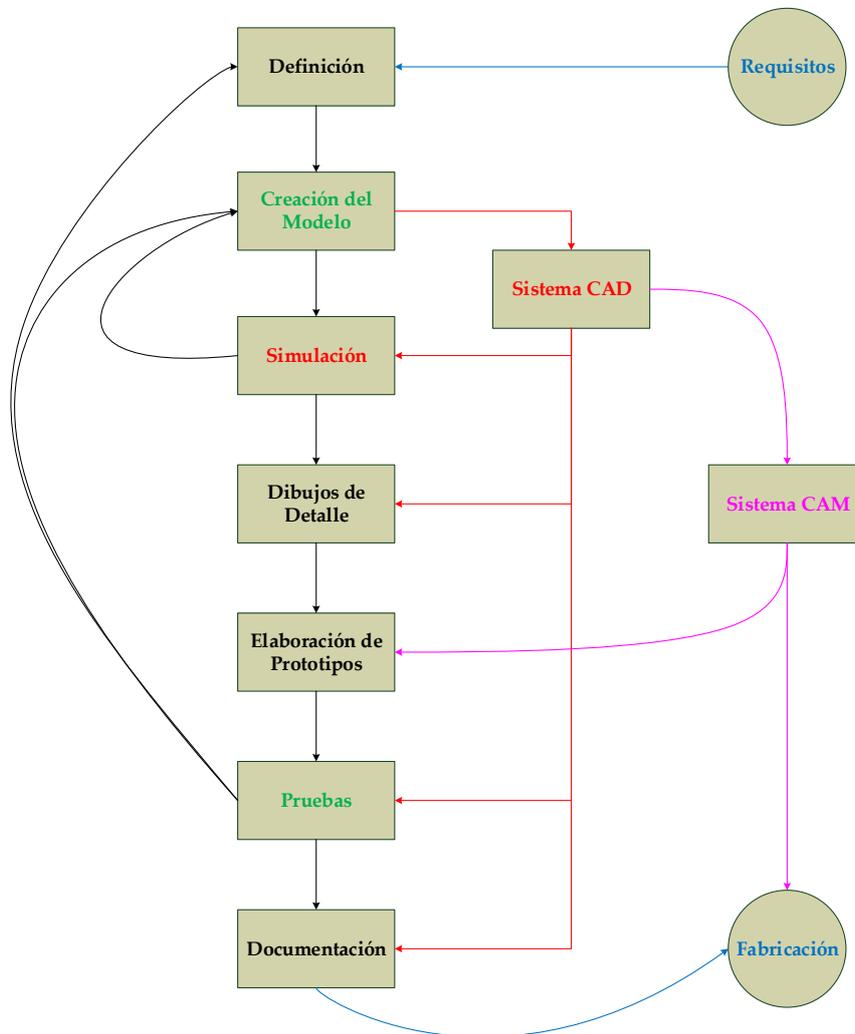


Figura 2.3 – El proceso de diseño empleando herramientas CAD.

Este nuevo ciclo de diseño, empleando herramientas CAD, se puede entender como una continua sucesión de modificación-simulación-visualización del modelo.

Aunque los sistemas CAD son muy variados, y su estructura puede depender mucho del objetivo y área de conocimiento para el que se diseñen, podemos establecer, de un modo general, que un sistema CAD debe realizar las siguientes funciones:

- definición interactiva del objeto.
- visualización múltiple.
- cálculo de propiedades y simulación.
- modificación del modelo.
- generación de planos y documentación.
- conexión con CAM.

Es casi imposible establecer un patrón universal para el diseño de sistemas CAD. No obstante, a nivel general, podemos establecer que los sistemas CAD poseen, al menos, los siguientes componentes:

· **Modelo.** Constituye el núcleo (casi siempre oculto) de un sistema CAD. Es la representación computacional del objeto/idea/actividad que se está diseñando o estudiando. Debe contener toda la información necesaria para describirlo, tanto a nivel geométrico (modelado geométrico) como de otras propiedades o características físicas (modelado físico).

Las propiedades que añadamos al modelo determinarán el uso que podremos hacer de él y establecerán las limitaciones del sistema CAD. El modelo es siempre el elemento central del sistema CAD.

En cuanto al modelado geométrico, éste se ocupa de la representación de objetos mediante elementos geométricos. Para sistemas 2D en los que la representación gráfica sean esquemas, se suelen utilizar modelos basados en instanciación de símbolos. Para modelar objetos de los que solamente interese su contorno, (carrocerías, fuselajes, envases etc.) se suelen emplear modelos de representación mediante superficies. Para objetos sólidos (piezas mecánicas, envases, moldes, ingeniería civil, etc.), se utilizan técnicas jerárquicas de división del espacio, o modelos de ocupación del espacio.

· **Subsistema de edición.** Permite la creación y edición del modelo, bien a nivel geométrico o bien especificando propiedades abstractas del mismo. En cualquier caso, la edición debe ser siempre interactiva, para facilitar la exploración de posibilidades. Las

técnicas de interacción gráfica son la manera de permitir la comunicación entre el hombre y la máquina. Los paradigmas de interacción nos permiten seleccionar modelos (objetos virtuales) y realizar acciones sobre ellos.

- **Subsistema de visualización.** Se encarga de generar imágenes del modelo. Normalmente interesa poder realizar distintas representaciones del modelo, bien porque exista más de una manera de representar gráficamente el ente que se está diseñando, o bien para permitir visualizaciones rápidas durante la edición, junto con imágenes mucho más elaboradas posteriormente, que nos sirvan fundamentalmente para validar el diseño. Las técnicas de visualización empleadas pueden variar según el modelo que se quiera representar, pudiendo variar desde simples técnicas de dibujo de líneas bidimensionales (para representar un circuito eléctrico, por ejemplo) hasta una visualización realista empleando técnicas de iluminación avanzada y proyecciones perspectivas.

- **Subsistema de cálculo.** Permite el cálculo de propiedades del modelo y la realización de simulaciones sobre él. Incluye todos aquellos procesos automáticos (a menudo complejos para un ser humano) que el sistema CAD es capaz de realizar y que facilitan enormemente el proceso de diseño. Un ejemplo de este tipo de procesos es el cálculo de estructuras en ingeniería civil, que resultaría tremendamente tedioso (y propenso a errores) de realizar por un ser humano. Estos procesos son profundamente dependientes del tipo de aplicación/área de conocimiento para el que se emplee y diseñe el sistema CAD. Por ello, el diseño de un sistema CAD requiere de la colaboración de auténticos expertos en las diversas materias a las que esté orientado.

- **Subsistema de documentación.** Se encarga de la generación de la documentación del modelo. A menudo, el sistema CAD es capaz de generar gran cantidad de información de modo automático sobre el modelo. Sobre ella, se puede añadir información introducida por el usuario.

- **Base de datos CAD.** Proporciona el soporte para almacenar de forma permanente la información de los diferentes objetos diseñados. El diseño de bases de datos para sistemas CAD plantea una serie de problemas específicos, por la naturaleza de la información y por las constantes necesidades de cambio de la estructura, dada la naturaleza dinámica de un sistema CAD.

Indudablemente, tanto las técnicas de representación y edición del modelo, como la visualización, el cálculo y la documentación, dependen del tipo de objeto a diseñar. A día de hoy, no es realista pensar en un sistema CAD universal, sino que cada sistema CAD se

orienta a una determinada y concreta área de conocimiento en la que pueda proporcionar alguna ayuda o ventaja sobre los procesos tradicionales.