
1 El enmarque del diseño

1.1 Nueva dimensión del diseño

Introducción

En las últimas décadas del siglo XX (en un proceso que aún hoy día continúa), la forma de concebir y producir los bienes y servicios ha experimentado una gran transformación, influida sin duda por el desarrollo de las tecnologías de la información y de la comunicación (TIC), pero que va mucho más allá y alcanza nuevas concepciones, nuevas herramientas, nuevas metodologías y nuevas formas organizativas.

Uno de los aspectos más destacados de esta nueva situación es la importancia que van adquiriendo las etapas de *diseño y desarrollo* de nuevos productos y servicios (y muy especialmente la *especificación* y el *diseño conceptual*) en el contexto de las actividades de las empresas, y el hecho de que en estas etapas se incorporen los requerimientos y condicionantes de los distintos contextos en los que convivirán estos productos y servicios, como el entorno productivo (fabricación, montaje, calidad, transporte), el entorno de utilización (funciones, prestaciones, fiabilidad, mantenimiento), o el entorno social (ergonomía, seguridad, impactos ambientales y fin de vida).

En las décadas de 1970 y 1980 los progresos de la informática se orientaron hacia el abaratamiento de los costes y la mejora de la calidad a través del desarrollo de la automatización flexible (control numérico, robots industriales, centros de mecanizado, células de fabricación flexible). Pero a pesar de los resultados espectaculares, pronto se percibió que la principal dificultad para obtener mejoras provenía de que muchos productos y servicios habían sido concebidos para procesos tradicionales, donde la intervención del hombre con su enorme capacidad de adaptación resolvía las incidencias que se producían.

Este hecho reorientó la atención de los responsables empresariales y de los investigadores hacia la importancia de las tareas de diseño no tan sólo para asegurar las funciones y prestaciones de los productos y servicios, sino también para facilitar aquellos aspectos relacionados con su producción y ejecución.

La exploración de este cambio de perspectiva (diseño para la fabricación y montaje, en la producción de bienes; diseño para una fácil ejecución, en la prestación de servicios) mostró inmediatamente sus enormes potencialidades de mejora. Sorprendía constatar que, con esta nueva perspectiva (diseño para la función, pero también diseño para la producción), se rompían los clásicos compromisos entre alternativas (si se desea más calidad, hay que dedicar más recursos) y, simultáneamente, se conseguían mejoras significativas en las funciones y prestaciones del producto y en los procesos para su fabricación.

Ejemplo 1.1

Incidencia de la automatización y del diseño en los costes de montaje

Aunque esquemática, las Figuras 1.1 [Boo, 1992] y 1.3 muestran las distintas repercusiones que la doble perspectiva de la automatización y de la mejora del diseño (en estos ejemplos, diseño para el montaje) tienen en los costes.

De entrada se observa que el montaje manual de la última versión del conjunto (D, Figura 1.1) tiene un coste más bajo que la automatización rígida con medios específicos de la solución inicial (A, Figura 1.1), lo que muestra la capacidad de ahorro a que puede dar lugar un rediseño bien orientado. Además, esto se consigue con una inversión mucho menor en útiles para el montaje (proceso de rediseño, en lugar de inversión en un equipo de automatización específico) y con una flexibilidad mucho mayor (montaje unidad a unidad, si es necesario, en lugar de requerir grandes series para rentabilizar la inversión). Este ejemplo también permite ver la complejidad de las interrelaciones que se dan entre distintos aspectos de la fabricación del producto y que hay que ponderar convenientemente:

- a) Las piezas de la solución inicial A son más sencillas (la fabricación es menos cara), pero su número es más elevado; hay que evaluar qué aspecto pesa más en los costes aunque, en principio, parece ser la eliminación de piezas.
- b) El elemento base de la solución D requiere medios de producción más sofisticados que, probablemente, sólo son rentables con series medianas o grandes.
- c) La menor complejidad de la solución D redundará en una mayor precisión del conjunto y en la fiabilidad del componente
- d) Si fuera necesario montar grandes series, la inversión para automatizar el montaje de la solución D sería más baja que la de la solución A, ya que tiene una sola dirección de montaje (en lugar de tres en la primera solución).

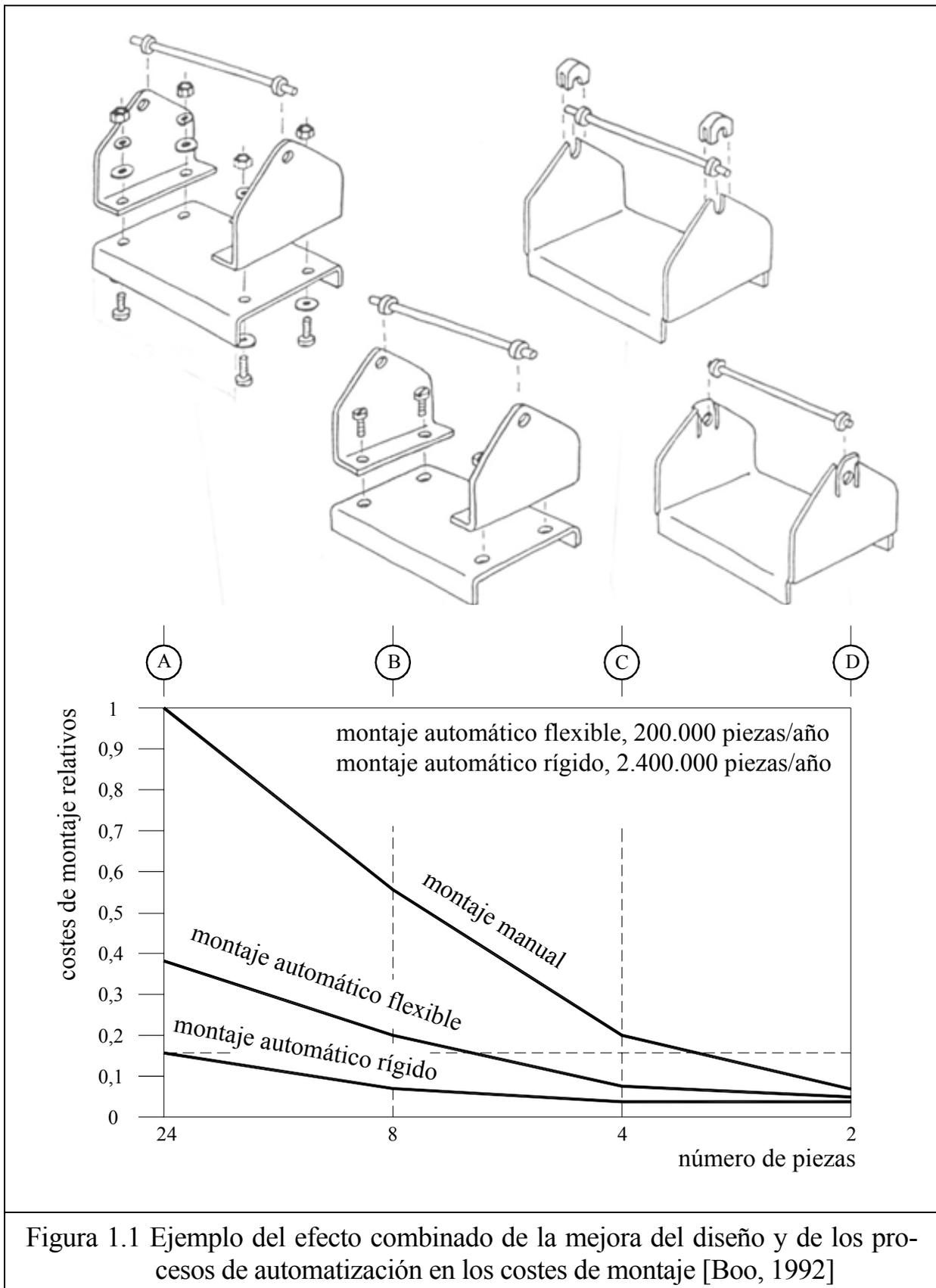


Figura 1.1 Ejemplo del efecto combinado de la mejora del diseño y de los procesos de automatización en los costes de montaje [Boo, 1992]

*Ejemplo 1.2***Montaje, flexibilidad y costes en la fabricación de automóviles de juguete**

En este segundo ejemplo se analizan las interrelaciones entre el montaje, la flexibilidad y los costes en la fabricación de una gama de automóviles de juguete que pueden adoptar diferentes carrocerías y, también, distintos números de ejes y distancias entre ejes (Figura 1.2).

En la Figura 1.3 se presentan tres tipos de montaje. En la solución A se prevé una pieza de chapa que hace de suelo, unida a la carrocería por cuatro tornillos, donde se insertan los ejes y después se entran las ruedas a presión sobre los ejes. En las soluciones B y C, los ejes y las ruedas han sido montadas previamente para formar unos conjuntos. En la solución B, los conjuntos eje-ruedas se colocan en unas entallas de la carrocería y después una plancha fijada por dos tornillos impide la salida, mientras que en la solución C, los conjuntos eje-ruedas se fijan directamente a la carrocería por medio de ecliquetajes (uniones por forma en que las piezas entran en su sitio debido a la deformación elástica de una de ellas o de ambas).

Más allá de la simplicidad creciente y de los costes decrecientes de las soluciones B y C respecto de la A, hay que decir que la solución C también es mejor desde el punto de vista de la formación de gamas de producto (vehículos de 2 ejes, de tres ejes, de distintas batallas y, si es necesario, de distintas anchuras) y mejora las posibilidades de automatización flexible (evita la plancha del fondo, distinta para cada modelo de la gama, elimina los tornillos, y tiene una sola dirección de montaje).

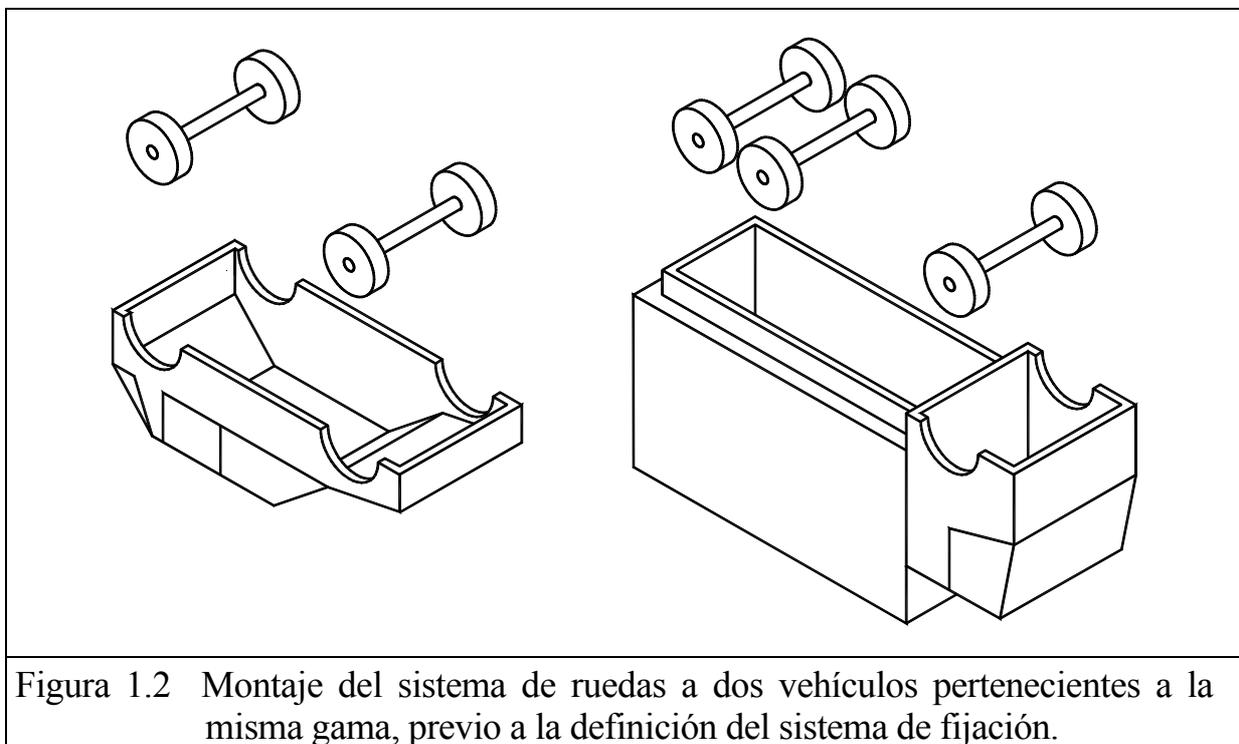


Figura 1.2 Montaje del sistema de ruedas a dos vehículos pertenecientes a la misma gama, previo a la definición del sistema de fijación.

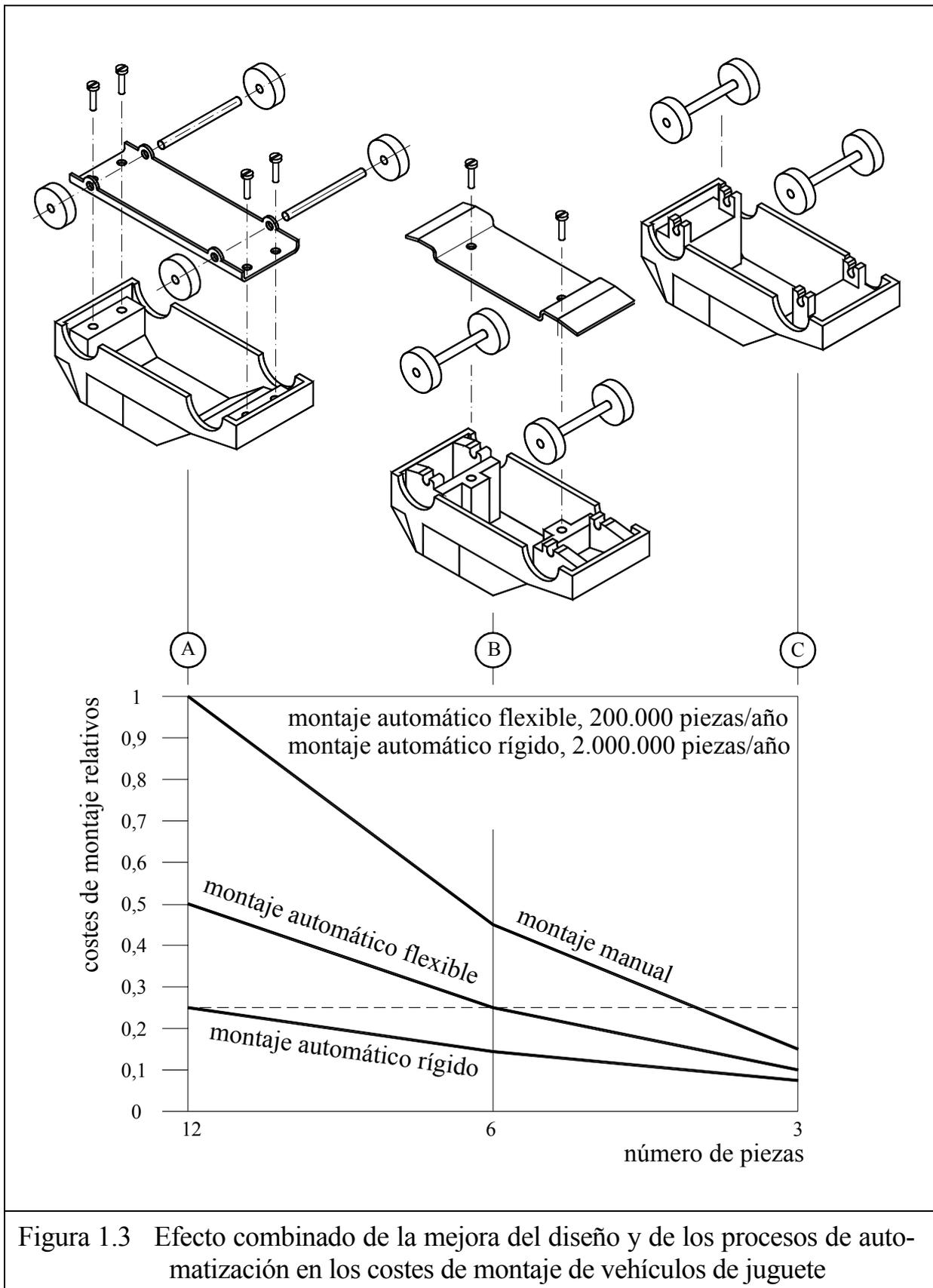


Figura 1.3 Efecto combinado de la mejora del diseño y de los procesos de automatización en los costes de montaje de vehículos de juguete

1.2 Ingeniería concurrente

Integración de perspectivas

La nueva perspectiva del diseño que toma en consideración de forma simultánea los requerimientos funcionales y los de fabricación se denomina *diseño para la fabricación y el montaje* (DFMA del inglés *design for manufacturing and assembly*) y, gracias a los buenos resultados obtenidos, estos mismos principios se han ido aplicando progresivamente a otros aspectos de los productos y de los servicios para asegurar que den respuesta a las necesidades de los usuarios, que faciliten el mantenimiento o que minimicen los impactos ambientales. Estos principios, junto con nuevas formas organizativas y nuevas herramientas integradoras, han ido confluyendo en un nuevo concepto que toma el nombre de *ingeniería concurrente*.

Definición de ingeniería concurrente

Nueva forma de concebir la ingeniería de diseño y desarrollo de productos y servicios de forma global e integrada donde concurren las siguientes perspectivas:

1. Desde el punto de vista del producto, se toman en consideración tanto la gama que se fabrica y ofrece a la empresa como los requerimientos de las distintas etapas del ciclo de vida y los costes o recursos asociados
2. Desde el punto de vista de los recursos humanos, colaboran profesionales que actúan de forma colectiva en tareas de asesoramiento y de decisión (con presencia de las voces significativas) o de forma individual en tareas de impulsión y gestión (gestor de proyecto), tanto si pertenecen a la empresa como si son externos a ella (otras empresas, universidades o centros tecnológicos)
3. Y, desde el punto de vista de los recursos materiales, concurren nuevas herramientas basadas en tecnologías de la información y la comunicación sobre una base de datos y de conocimientos cada vez más integrada (modelización 3D, herramientas de simulación y cálculo, prototipos y útiles rápidos, comunicación interior, internet).

Para designar este nuevo concepto, además del término *ingeniería concurrente*, en la literatura especializada aparecen otras denominaciones como *ingeniería simultánea*, *diseño total* o *diseño integrado* (ver referencias bibliográficas).

Sin embargo, nos inclinamos por la primera denominación ya que, además de tener una buena aceptación, incide el hecho de la concurrencia de puntos de vista, de metodologías, de actores humanos y de herramientas de apoyo.

Aunque muchos de ellos serán tratados con mayor extensión a lo largo del texto, a continuación se describen brevemente determinados conceptos relacionados con la ingeniería concurrente, los cuales ponen énfasis en algunas de sus perspectivas.

Ingeniería simultánea

Forma de ingeniería concurrente que suele aplicarse en proyectos de gran complejidad (el diseño de un automóvil, por ejemplo) donde prima como factor clave de competitividad la disminución del tiempo de diseño y desarrollo (*time to market*, o *lead time*). A tal fin, se define inicialmente una estructura modular del producto y se dividen las tareas en subproyectos de menor complejidad que puedan desarrollarse en paralelo. Esta metodología facilita no tan solo la subcontratación de la fabricación de componentes y subsistemas, sino también de su diseño y desarrollo.

Diseño para la calidad

Perspectiva de la ingeniería concurrente que, más allá de buscar la conformidad de un producto o servicio con las especificaciones previstas, incide en el mismo diseño para hacerlo más apto para la calidad (eliminación o simplificación de controles, diseño robusto). El concepto más reciente de calidad hace referencia tanto al grado de satisfacción que el producto o servicio proporciona a las expectativas del usuario, como a la rentabilización general de los recursos y a la eliminación de las pérdidas.

Diseño para el entorno. Factor humano

Perspectiva de la ingeniería concurrente que toma en consideración en el diseño las crecientes limitaciones que comportan la escasez de energía y recursos naturales, los impactos ambientales y los requerimientos que se engloban bajo el concepto de factor humano (ergonomía, seguridad, inteligibilidad), aspectos todos ellos cada vez más sometidos a normativas y a legislaciones.

Diseño en el contexto de la gama de producto

Perspectiva de la ingeniería concurrente que inscribe el diseño y desarrollo del producto o servicio en el contexto de la oferta de la empresa o del sector. Hay que tener presente la tendencia a desplazar la oferta de productos hacia una oferta más global de servicios cuya prestación requiere a menudo de nuevos y más sofisticados productos. Ello impulsa a muchas empresas a asociarse o a formar grupos para completar y mejorar su gama y coordinar la concepción y desarrollo de sus productos.

Equipos pluridisciplinarios de decisión y asesoramiento

Desde la perspectiva de los recursos humanos y, dada la complejidad de las nuevas formas de diseño, la ingeniería concurrente ha fomentado la formación de equipos pluridisciplinarios con presencia de las voces más significativas (dirección, marketing, finanzas, diseño, fabricación, calidad, comercial, postventa, usuarios) para el asesoramiento, debate y toma de decisiones en los principales aspectos de los proyectos de innovación.

Gestor de proyecto y organización matricial

También desde la perspectiva de los recursos humanos y, dada la necesidad de una visión global y con continuidad del producto o servicio, se suele designar un gestor de proyecto que se responsabilice de la impulsión y gestión de todo el proceso de diseño y desarrollo del producto. Esta persona utiliza de forma transversal los recursos de distintos departamentos de la empresa (márketing, I+D, producción, prototipos y ensayos, comercial, postventa) en una organización de estructura matricial (los proyectos impulsan qué hacer y los departamentos ordenan cómo hacer).

Énfasis en la definición del producto y en el diseño conceptual

En relación al proceso de diseño, la integración de las perspectivas anteriores obliga a centrar la atención y los esfuerzos en las etapas de definición y diseño conceptual de los productos y servicios, y a elaborar en profundidad un principio de solución antes de pasar a las etapas siguientes (diseño de materialización y de detalle). Sin embargo, conviene avanzarse en alguna de estas etapas más concretas si sus conclusiones son determinantes en la evaluación de una alternativa conceptual.

Estructura modular y subproyectos

Los productos o servicios complejos se suelen subdividir en partes más simples (o módulos) en el marco de una estructura modular. Las tareas de diseño, desarrollo y fabricación de los módulos pueden organizarse en subproyectos que son realizadas por diversos equipos (propios, contratados, o suministradores). El establecimiento de la estructura modular requiere criterios y métodos para repartir las funciones y establecer las conexiones (o interfases) entre los módulos, así como técnicas para transmitir adecuadamente la información entre los diferentes equipos de diseño.

Herramientas basadas en la informática y las comunicaciones

Desde la perspectiva de los medios, el diseño y desarrollo incorporan numerosas herramientas asistidas por ordenador (CAx, *computer aided x*: CAD, CAE, CAM) que han reforzado las actividades de prototipado virtual y simulación, con el consiguiente ahorro en tiempo y en pruebas con prototipos físicos. También se abren nuevas posibilidades para la ingeniería concurrente gracias al establecimiento de bases de datos sobre los productos cada vez más integradas (modelización 3D aptas para simulaciones y cálculos, el uso de datos de diseño para simular y programar la fabricación, para actividades comerciales o de postventa) y de nuevas facilidades de información y comunicación (redes locales, internet, otras técnicas CIM).

Prototipos y útiles rápidos

También, desde la perspectiva de las herramientas, últimamente se han desarrollado numerosas técnicas para facilitar la realización de prototipos en un tiempo más breve (y, generalmente, también a un coste más reducido). Ello invita a un uso más decidido de las actividades de evaluación y validación por medio de ensayos con

prototipos físicos como comprobación última, lo que se traduce en asegurar la calidad de los productos y servicios. En este sentido, hay que destacar el reciente despliegue de técnicas para realizar prototipos y útiles rápidos destinados a piezas y componentes de materiales plásticos y también metálicos.

Las Secciones 1.3 y 1.4 tratan los dos principales conceptos sobre los que se basa la ingeniería concurrente: el concepto diacrónico de *ciclo de vida* y el concepto fundamentalmente sincrónico de la *gama* de producto.

Principales orientaciones de la ingeniería concurrente

A pesar de que las distintas perspectivas y metodologías de la ingeniería concurrente tienen por objeto concebir los productos y servicios de forma global en beneficio de los usuarios, lo cierto es que repercuten de distinta manera sobre los intereses de las empresas y de las colectividades.

En efecto, hay metodologías y puntos de vista que benefician a todos, como fabricar con más calidad y a menor precio, u obtener mejores prestaciones al mismo coste, ya que todos los aspectos considerados mejoran al mismo tiempo y aumenta la relación entre prestaciones y precio.

Sin embargo, también hay otras metodologías y puntos de vista que, aún colaborando decididamente en una concepción global de los productos y servicios, son el resultado de compromisos entre requerimientos contradictorios, muchos de ellos condicionados por el entorno y, en consecuencia, las empresas se resisten a incorporarlos sobretodo cuando pueden dar lugar a pérdidas de competitividad.

Las dos orientaciones descritas anteriormente pueden ser denominadas como:

- A) *Ingeniería concurrente orientada al producto* (fabricación, costes, inversión, calidad, comercialización, apariencia)
- B) *Ingeniería concurrente orientada al entorno* (ergonomía, seguridad, medioambiente, fin de vida)

Ingeniería concurrente orientada al producto

Esta primera orientación de la *ingeniería concurrente* se refiere a la integración de todos aquellos aspectos que pueden tener una incidencia positiva en el producto, especialmente en sus funciones y en la relación entre prestaciones y coste.

De forma muy directa inciden el:

- *Diseño para la función*
- *Diseño para la fabricación*

Pero también inciden otras perspectivas relacionadas con las finanzas, la producción y la comercialización como el:

- *Diseño para la calidad*
- *Política comercial y de márketing*
- *Política de compras y de subcontratación*

Los rasgos principales de la *ingeniería concurrente orientada al producto* son:

- a) En primer lugar, debe asegurar que el producto o servicio responda a las necesidades manifestadas por los usuarios; por lo tanto, es fundamental la intervención del *departamento de márketing* en su definición.
- b) En segundo lugar, debe tomar en consideración desde el inicio los procesos de fabricación y el equipo e inversión necesarios; por lo que es necesaria la intervención de la *ingeniería de fabricación* desde el inicio del proyecto.
- a) Y, en tercer lugar, hay que asegurar la calidad del producto y la rentabilidad de los recursos para fabricarlo y comercializarlo, por lo que debe preverse la intervención del *departamento de calidad* en la definición y desarrollo del proyecto.

Ingeniería concurrente orientada al entorno

La sabiduría popular dice que, antes de un acuerdo, el vendedor está dispuesto a negociar aspectos del producto o servicio que ofrece pero que, una vez vendido, las incidencias que se deriven las asume el comprador. En consecuencia, también existe la percepción de que las empresas (cuyo objetivo es obtener un beneficio) evitan dedicar recursos a temas en los cuales después no deberán responsabilizarse.

La *ingeniería concurrente orientada al entorno* trata precisamente de aquellos aspectos relacionados con el entorno del producto que, a pesar de que con un diseño concurrente adecuado podrían mejorarse o eliminarse, no hay incentivos suficientes para implementarlos pues, normalmente, sus efectos inciden fuera de la empresa y normalmente son soportados por los usuarios e indirectamente por la sociedad (consumos elevados, contaminaciones, fallos, falta de seguridad, problemática de fin de vida).

Es evidente que este es un esquema simplista ya que los buenos fabricantes no abandonan a sus clientes (garantías, servicios de postventa, mantenimiento), pero también es cierto que hay temas que aún están demasiado ausentes (poca seguridad, consumos excesivos, emisiones contaminantes, impactos de la eliminación)

Ejemplo 1.3

Catalizador en el sistema de escape de los automóviles

Sin catalizador en el sistema de escape de los gases del motor de los automóviles, la contaminación del aire de nuestras ciudades y de nuestro entorno va siendo cada vez más nociva para el medio ambiente.

Pero, ¿qué interés puede mostrar un constructor de automóviles para incorporar este dispositivo si conlleva inconvenientes para el fabricante y para el usuario?:

- Un coste no menospreciable incorporado al precio de venta.
- Una ligera disminución de la potencia.
- La obligación de cambiarlo después de cierto uso, también a un coste elevado.

Son unos costes suplementarios y unas desventajas competitivas que prácticamente ningún fabricante quiere asumir en solitario.

Sin embargo, si la administración obliga a adoptar este dispositivo (como es el caso de Europa), entonces todas las empresas vuelven a estar en las mismas condiciones de competencia e, incluso, muchas marcas hacen ostentación de llevar el catalizador como muestra de la sensibilidad de la compañía por el medioambiente.

La intervención de la administración

Afortunadamente, la sensibilización ciudadana sobre los temas del entorno es cada día más importante y ello conlleva buscar soluciones. Sin embargo, mientras exista la posibilidad de no adoptar soluciones costosas en beneficio del entorno y aún más, si sus efectos no son percibidos directamente por los usuarios, las empresas evitarán incorporarlos ya que les sitúa en un plano de competitividad desfavorable.

La única manera de resolver este tipo de problemas es que los poderes públicos y las administraciones, después de negociarlos, regulen estos temas para de esta manera obligar su cumplimiento a todos. Cuando esto sucede, las empresas suelen esgrimir estas mejoras respecto del entorno como reclamo comercial.

Las principales metodologías y puntos de vista que inciden en la *ingeniería concurrente orientada al entorno* son:

- Ergonomía*. Trata la relación entre el hombre y la máquina. Son técnicas ya desarrolladas desde hace más de cuatro décadas con una incidencia creciente en el diseño.
- Seguridad*. Estudia la manera de evitar el riesgo de daños personales o materiales. Las normativas europeas de seguridad en las máquinas hacen responsable al fabricante de las incidencias y accidentes imputables al diseño (a partir de 1995)
- Medioambiente*. Propugna el uso sostenible de materiales y energía tanto en la fabricación como en la utilización y la disminución de las emisiones contaminantes. Estos aspectos tienen regulaciones más o menos severas, especialmente en algunos sectores y su importancia en el diseño no hará más que aumentar.
- Eliminación o reciclaje*. Estudia la forma de reutilizar, reciclar o recuperar los materiales al fin de vida de los productos y todo indica que su incidencia en el diseño irá creciendo. La automoción y el embalaje marcan la pauta.

1.3 Ciclo de vida y recursos asociados

Conceptos y definiciones

Ciclo de vida (en inglés, life-cycle)

Es el conjunto de etapas que recorre una determinada entidad desde que inicia su existencia hasta que la termina y es aplicable a realidades muy diversas como personas, edificios, empresas u organizaciones. En el presente texto se analizan el *ciclo de vida de un producto* (o servicio) y el *ciclo de vida de un proyecto*, que a menudo aparecen confundidos en la literatura técnica.

Ciclo de vida de un producto

Conjunto de etapas que recorre un producto (considerado como objeto individual) desde que es creado hasta su fin de vida. El ciclo de vida de un producto recorre unas primeras etapas en el seno de la organización empresarial que lo produce (definición, diseño y desarrollo, fabricación, embalaje, transporte) hasta su venta (o transferencia al usuario) y, después, recorre otras etapas posventa (o postransferencia) que corresponden al usuario (o usuarios) y, eventualmente, a la colectividad.

Ciclo de vida de un proyecto

Conjunto de etapas que recorre un proyecto (en este texto interesan aquellos que comportan la fabricación de productos o la prestación de servicios) desde que se inicia hasta que finaliza o es abandonado. Por lo tanto, las etapas del ciclo de vida de un proyecto se suelen recorrer en el seno de una empresa u organización e incluyen la evolución de la actividad o negocio (producción y ventas) hasta que ésta finaliza.

Coste (o recursos) del ciclo de vida

De manera análoga al concepto de ciclo de vida, se puede establecer el concepto de coste (o recursos) del ciclo de vida. Corresponde a la evaluación de los recursos implicados en el ciclo de vida de un producto (se suele hablar de costes) o de un proyecto (se suele hablar de inversiones, ingresos y gastos).

En el caso de los proyectos, con una organización y actividad empresarial detrás, se suele llevar la contabilidad de los ingresos y gastos, por lo que la evaluación de los recursos del ciclo de vida se puede conocer con un cierto rigor.

Sin embargo, en el caso de los productos, con la discontinuidad de la venta o transferencia entre el fabricante y el usuario y la falta de control contable en la que suele desarrollarse su utilización, hace que, en la mayor parte de las veces el coste del ciclo de vida de un producto sea desconocido.

Etapas del ciclo de vida de un producto

Más allá de las múltiples clasificaciones y matices que se puedan hacer sobre esta cuestión, en este texto se ha creído conveniente agrupar el ciclo de vida de un producto en las seis etapas siguientes:

1. *Decisión y definición*
2. *Diseño y desarrollo*
3. *Fabricación*
4. *Distribución y comercialización*
5. *Utilización y mantenimiento*
6. *Fin de vida*

A continuación se realiza una breve descripción de cada una de ellas a la vez que se señalan sus aspectos más relevantes.

Decisión y definición

La primera de las etapas del *ciclo de vida* de un producto corresponde a la decisión de crearlo y a la tarea de definirlo por medio de especificaciones.

El origen de un producto puede ser diverso (encargo de un cliente; rediseño de un producto existente propuesto por la dirección; detección de una nueva necesidad u oportunidad en el mercado por parte del departamento comercial).

La etapa de decisión y definición no es en absoluto trivial ni sencilla y, probablemente, es la que tiene luego consecuencias más importantes a lo largo de su vida:

- a) El lanzamiento de un producto va asociado a invertir una determinada cantidad de recursos materiales, humanos y de tiempo. Antes de hacer la decisión, la empresa debe responderse preguntas como: ¿Hay suficientes clientes potenciales para cubrir los gastos de diseño y desarrollo?, ¿La empresa tiene capacidad para emprender el proyecto?, ¿Tiene al alcance ayudas exteriores?
- b) La definición del producto es una etapa crucial del proceso de desarrollo y contiene en gran medida el acierto o desacierto que más adelante se irá manifestando durante el resto del ciclo de vida (¿satisface o no una necesidad del mercado?, ¿la definición hace el producto fácilmente fabricable y a bajo coste?, ¿presenta seguridad en su utilización?, ¿da lugar a consumos aceptables?).

Diseño y desarrollo

El *diseño* agrupa aquellas actividades que tienen por objeto la concepción de un producto adecuado a las especificaciones y al ciclo de vida previsto y su concreción en todas aquellas determinaciones que permitan su fabricación.

El desarrollo incluye, además del diseño, todas aquellas acciones destinadas a llevar el producto al mercado o a disposición del usuario (preparación de los procesos de fabricación, lanzamiento de la producción, preparación de la distribución, la comercialización y la postventa).

- a) El diseño es el responsable en última instancia de que el producto tenga las funciones y prestaciones para las que ha sido concebido y su funcionamiento sea el adecuado durante todo el ciclo de vida.
- b) La coordinación entre el diseño y las restantes tareas del desarrollo contiene los elementos para mejorar y hacer lo más rentable posible los procesos de fabricación y comercialización de la empresa, aspectos que en última instancia redundan favorablemente en el precio y la calidad del producto.

Fabricación

Son el conjunto de actividades destinadas a la realización efectiva del producto con unas condiciones aceptables de calidad, costes y tiempo. Entre estas actividades se encuentran las siguientes:

- a) La preparación de los procesos productivos, la planificación y programación de la producción y la preparación del equipo y utillaje necesarios.
- b) La fabricación de piezas y componentes, o su eventual subcontractación y el establecimiento de las correspondientes especificaciones técnicas y contratos.
- c) El montaje de piezas, subconjuntos y conjuntos para formar un producto que responda a la funcionalidad.
- d) El control de calidad, en la recepción de materiales y componentes, en los procesos de fabricación, de montaje o como garantía de la calidad global del producto. Eventualmente, realizar las inicializaciones y puestas a punto.
- e) La expedición comprende la documentación (manual de instrucciones y de mantenimiento, garantías), el embalaje y la preparación para el transporte.

Distribución y comercialización

Etapas del ciclo de vida del producto que, a pesar de no aumentar su valor, tiene gran importancia para hacer efectivo su uso. Incluye las siguientes actividades:

- a) El transporte y la distribución, actividades imprescindibles que a menudo añaden un valor no despreciable en el coste del producto
- b) La comercialización incluye actividades como las acciones para dar a conocer el producto y convencer al cliente, el acuerdo sobre el precio (u otras modalidades: alquiler, *leasing*) y las condiciones sobre garantías, revisiones y mantenimiento.

Utilización y mantenimiento

La utilización es el ejercicio de la función para la cual ha sido diseñado el producto y, por lo tanto, es una etapa de una gran importancia en el contexto de su ciclo de vida. A menudo la utilización de un producto queda interrumpida por un fallo: las actividades de mantenimiento son las destinadas a mantener o reponer este uso. En esta etapa son importantes aspectos como:

- a) Funciones y prestaciones adecuadas a la utilización efectiva. Espacios ocupados, especialmente durante la no utilización (electrodomésticos, automóvil).
- b) Relación con el usuario; facilidad de comprensión de su uso (manual de instrucciones); seguridad en su uso; maniobrabilidad; buena presencia, buen tacto.
- c) Consumos de materiales y energía moderados; costes derivados de los consumos; posibles efectos contaminantes; producción de residuos y su eliminación.
- d) Necesidad de mantenimiento y de atenciones especiales; existencia de manual de mantenimiento; garantías.
- e) Disponibilidad del producto; fallos en el funcionamiento; facilidad de detección y reparación; facilidad de suministros y recambios; existencia de talleres de reparación preparados.

Fin de vida

La última etapa de un producto es el fin de su vida útil y su eliminación, la cual puede presentar diversas formas que tienen consecuencias económicas y ambientales muy distintas, como se analizará más adelante (Sección 3.5): reutilización del producto; reciclado de materiales; recuperación de energía por medio de la combustión; vertido (en principio controlado).

Hasta entrado el siglo XX, la mayoría de los productos tenían un adecuado fin de vida por medio de reutilizaciones de los propios productos o de algunos de sus componentes, el reciclado de materiales o la combustión, mientras que la parte eliminada en vertederos era mínima.

Sin embargo, el incesante incremento de las producciones industriales y la introducción de nuevos materiales sin mercados de reciclaje bien establecidos (especialmente los plásticos y elastómeros) y la proliferación de componentes de alta complejidad donde la imbricación de materiales no permite su separación, han hecho que la eliminación de muchos productos a su fin de vida se haya transformado en un problema.

Es por ello que, en especial a remolque de la industria de la automoción y del embalaje, hayan surgido nuevas metodologías orientadas al diseño para el fin de vida.

Coste del ciclo de vida de un producto

Existe la tendencia a evaluar el coste de un producto por medio de su *precio de venta*. Ciertamente, el *precio de venta* de un producto (si no es objeto de especulación) incluye la suma de costes de las etapas anteriores de su *ciclo de vida*:

- Coste de *definición*
- Coste de *diseño y desarrollo*
- Coste de *fabricación*
- Coste de *distribución y comercialización*
- Además del beneficio industrial

Habitualmente, la empresa fabricante estudia estos costes de forma precisa ya que después los repercute en el *precio de venta* del producto. De su correcta evaluación depende en gran medida la rentabilidad de la actividad de la empresa.

Pero el coste *del ciclo de vida* incluye también los costes de las etapas posteriores:

- Coste de *utilización y mantenimiento*
Recae sobre el usuario, normalmente durante un período de tiempo dilatado y en unas circunstancias en las que no suele llevarse la contabilidad. Se hace difícil responsabilizar al fabricante de un diseño que da lugar a un uso ineficiente.
- Coste del *fin de vida*
Recae habitualmente sobre el usuario o la sociedad, en unas circunstancias en las que el producto ya no tiene valor de uso y, por lo tanto, no es fácil exigir responsabilidades ni al usuario ni al fabricante (caso de los vehículos abandonados en la calle).

La evaluación del coste *del ciclo de vida* de un producto muestra a menudo que los costes no incluidos en el *precio de venta* son superiores a éste. Así pues, en un contexto de conciencia creciente por la escasez de recursos materiales y de energía, la preocupación de los usuarios (en general, las empresas suelen llevar el control del coste del ciclo de vida de su equipamiento) por conocer los costes totales en que incurren en el momento de comprar un producto será cada vez mayor (las asociaciones de consumidores pueden tener un papel mediador muy importante en este tema) y los diseñadores deben incorporar esta consideración en sus actividades y actuar en consecuencia.

En el diagrama de la Figura 1.2 se observa que el diseño conceptual suele comprometer (a causa de decisiones tomadas) más de la mitad de la inversión necesaria mientras que realiza (o consume) una fracción muy pequeña. También se observa que el tiempo que transcurre entre el compromiso y la realización de una inversión es, en general, muy grande. Esto puede modificar la percepción de cómo repercute el diseño conceptual en el desarrollo de un producto.

Por otra parte, la falta de comunicación tradicional entre departamentos hace que producción y comercial comiencen a intervenir en los puntos *P* y *C*, respectivamente (Figura 1.2), cuando normalmente la mayoría de los costes ya han sido asignados. La *ingeniería concurrente* propugna que las voces de estos dos departamentos intervengan desde el inicio del proyecto (punto *I*).

Caso 1.1:

Evaluación del coste del ciclo de vida de un automóvil

El automóvil es un producto que, por sus múltiples incidencias sobre el entorno, ha obligado a hacer un importante esfuerzo de diseño concurrente que tenga en cuenta una parte cada vez más determinante del coste del *ciclo de vida*. A continuación se establece una evaluación genérica para un automóvil mediano:

Tabla 1. Coste del ciclo de vida de un automóvil

Precio de venta:	12.000 €
Impuestos de compra (IVA/matriculación):	4.000 €
Total precio de venta	16.000 €
Consumos (gasolina/neumáticos/mantenimientos) (10 años; 15000 km/año; 0,12 €/km)	18.000 €
Seguros + impuestos (10 años; 750 €/año)	7.500 €
Aparcamientos, peajes (10 años; 500 €/año)	5.000 €
Imprevistos (reparaciones/multas) (10 años; 600 €/año)	6.000 €
Total usuario	36.500 €
Costes derivados de la contaminación Asumidos por la sociedad (?)	2.000 €
Costes derivados del fin de vida Asumidos por la sociedad (?)	2.000 €
Total impactos sociales	4.000 €
Coste del ciclo de vida (350% del precio de venta)	56.500 €

La crisis de la energía de los años 1970 obligó a las industrias europeas y japonesas de automoción a realizar un importante esfuerzo para conseguir disminuir los consumos de combustible. Últimamente también se han eliminado costes de mantenimiento (mayor fiabilidad, sistemas de autodiagnóstico), han disminuido los impactos ambientales de la combustión y se han mejorado las posibilidades de reciclaje del fin de vida.

Sin embargo, restan otras numerosas posibilidades para disminuir los costes del ciclo de vida del automóvil, muchas de ellas externas a los fabricantes, como son: limitación de la velocidad máxima (la resistencia al aire a una velocidad de 180 km/h es 2,25 veces superior que a 120 km/h); evitar paradas (semáforos, retenciones de circulación); o formas de uso compartido que rentabilicen la inversión.

Caso 1.2:

Balance energético de una bañadora de chocolate

Algunos fabricantes de chocolate usan una máquina, llamada *bañadora*, que tiene por objeto depositar una capa de chocolate sobre galletas o productos análogos.

Su funcionamiento básico es el siguiente: el producto a bañar es transportado por una malla sin fin que se mueve encima de un gran cubo con calefacción que contiene chocolate líquido; por medio de una bomba y unos conductos, también calentados, se conduce el chocolate líquido hacia un dispositivo situado sobre la malla y lo reparte uniformemente sobre el producto el cual, más adelante, es sometido a varias acciones (vibración, soplado) para controlar la cantidad de chocolate depositada.

En un nuevo diseño de la máquina se estudiaron los costes de dos alternativas: mantener el cubo caliente durante las horas de inactividad laboral o vaciar el chocolate del cubo al depósito de reserva (opción que requería ciertas operaciones de limpieza al iniciar cada nueva jornada laboral). La evaluación de costes fue favorable a mantener el chocolate en el cubo, alternativa que se adoptó; las consecuencias en relación al diseño consistieron en la simplificación del sistema de válvulas y en la optimización del aislante térmico del conjunto de la máquina.

Etapas del ciclo de vida de un proyecto y recursos asociados

No hay que confundir el *ciclo de vida de un producto* con el *ciclo de vida de un proyecto*. El primero incide fundamentalmente en las actividades de diseño mientras que el segundo incide en las actividades de producción y comercialización.

En el primer caso, el objeto considerado es un producto individual que después de participar en las etapas de definición y diseño (colectivas) se fabrica y comercializa. A partir de la venta, el producto individual continua su ciclo fuera de la empresa, primero de la mano del usuario (uso y mantenimiento) para finalmente acabar bajo la responsabilidad de la colectividad (reciclaje, recuperación, vertido).

En el segundo caso, el objeto considerado es el producto colectivo (el conjunto de unidades que se fabrican) y su ciclo de vida empieza con las mismas etapas que un producto individual (definición y diseño), para después recorrer otras etapas relacionadas con la gestión de la fabricación y la comercialización hasta la retirada del producto del mercado, todas ellas de la mano de la empresa.

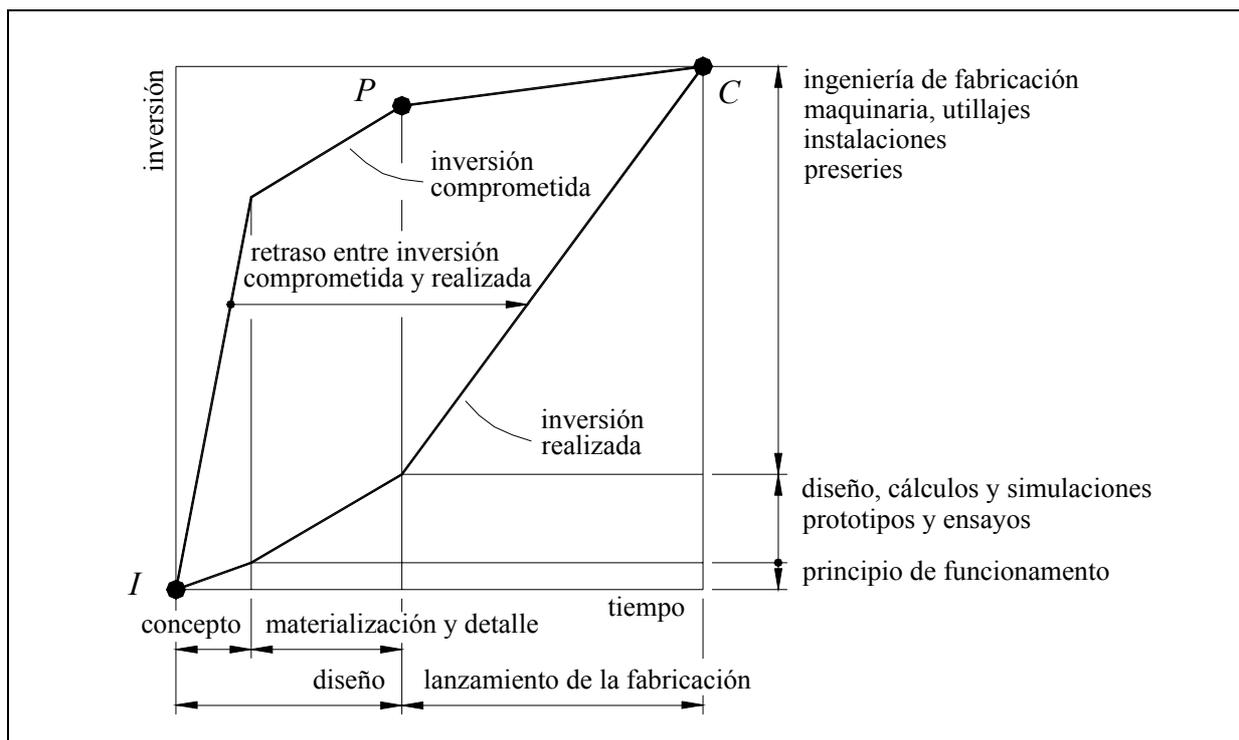


Figura 1.2 Relación entre la inversión comprometida y la inversión realizada a lo largo de las etapas del desarrollo de un producto

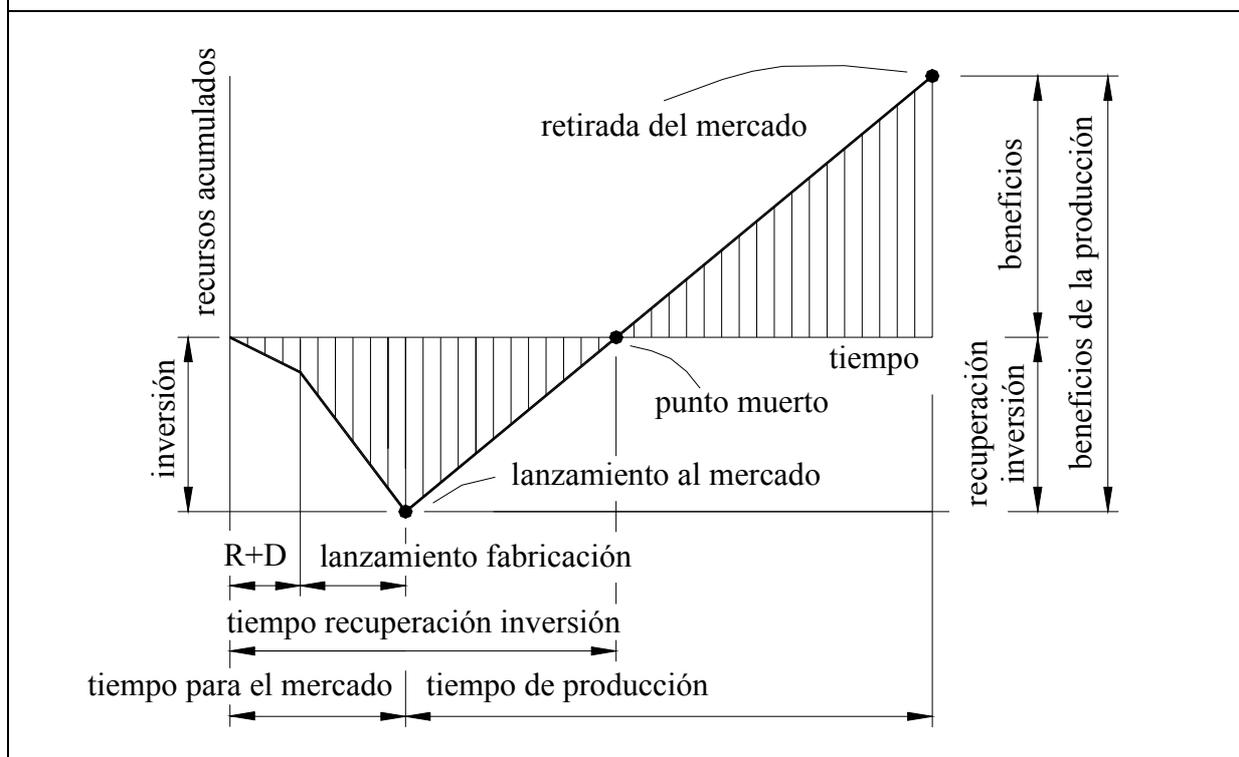


Figura 1.3 Evolución típica de los recursos en el ciclo de vida de un proyecto. Puntos determinantes: lanzamiento al mercado; punto muerto; retirada del mercado

Etapas del ciclo de vida de un proyecto

El ciclo de vida de un proyecto va desde el momento de la decisión de iniciarlo hasta el momento en que el producto deja de fabricarse (en algunos casos, como en el proyecto de un automóvil, hasta que se termina el periodo de garantía de recambios) y las etapas podrían ser las que se describen a continuación:

1. *Decisión y definición*
2. *Diseño y desarrollo*
3. *Preparación de la fabricación y la comercialización*
4. *Introducción del producto en el mercado*
5. *Estabilización de la producción y las ventas*
6. *Bajada de las ventas y retirada del producto del mercado*
- (7. *Eventualmente, periodo de garantía de recambios*)

Recursos del ciclo de vida de un proyecto

El análisis de la evolución de los *recursos del ciclo de vida de un proyecto* constituye una herramienta muy importante para determinar su viabilidad económica.

Hay que tener en cuenta que hasta el lanzamiento del producto en el mercado, la empresa debe soportar una inversión que puede llegar a ser muy importante, especialmente para fabricaciones de grandes series. Para rentabilizar el proyecto, los beneficios acumulados de las ventas hasta la retirada del producto del mercado deben ser suficientes para superar la inversión realizada. La Figura 1.3 invita a los siguientes comentarios:

- a) Conviene no estrangular las actividades de diseño, ya que comportan unos costes relativamente bajos en relación con la inversión total y, por otro lado, son la garantía de un diseño del producto adecuado y de calidad.
- b) Las inversiones en desarrollo pueden ser muy variables, en función de los medios de producción adoptados. En general, una mayor inversión redundará posteriormente en un menor coste por unidad de producto, pero el riesgo que se asume es mucho más elevado.
- c) En el lanzamiento de nuevos productos (con diseño original) en los que se desconoce la reacción del mercado, un camino a seguir puede ser empezar con una versión del producto fabricada con medios económicos (inversiones moderadas) para, en caso de reacción favorable del mercado, reconsiderar el diseño y adoptar medios de fabricación de mayor productividad (pero también de inversión más elevada).

Ejemplo: Empezar fundiendo una pieza de aluminio con molde de arena (coste unitario relativamente elevado), después usar una coquilla por gravedad (coste unitario inferior y coste de utillaje superior) y finalmente, por inyección (pieza mucho más barata pero coste de utillaje de 40 a 100 veces superior al primero).

1.4 Gama de producto

Concepto de gama de producto

En general, un determinado producto o servicio raramente actúa de forma aislada, sino que suele formar parte de un conjunto de productos o servicios que presentan ciertas semejanzas y/o que interaccionan entre ellos a diversos niveles. Este conjunto de productos toman el nombre de *gama* (en inglés, *range*).

Implicítamente, el concepto de gama casi siempre está presente en las primeras decisiones sobre la creación de los productos y servicios, pero hay muy poco escrito sobre ello (excepto en lo que se refiere al escalonamiento) y es interesante intentar trazar un marco conceptual.

Se define la *gama* como aquel conjunto de productos que inciden en un mismo mercado y/o que se fabrican en un mismo contexto productivo y que a su vez contemplan una o más de las tres dimensiones siguientes:

1. *Tipología*
2. *Escalonamiento*
3. *Opciones*

Tipología

Son los distintos tipos de producto (con arquitectura y/o funciones distintas) que actúan de forma coordinada en un mismo mercado y que a menudo se fabrican en un mismo contexto productivo.

Ejemplo 1.4

Tipologías de gama de máquinas en lavanderías industriales

En las lavanderías industriales de pequeña y mediana instalación hay diversos tipos de máquinas (lavadoras-centrifugadoras, secadoras, planchadoras) que suelen venderse conjuntamente formando instalaciones completas. Así pues, su concepción, diseño, fabricación y comercialización debe realizarse de forma coordinada teniendo en cuenta las interrelaciones comerciales y de uso (Figura 1.4).

En las lavanderías industriales de grandes instalaciones, existe una tipología de máquinas diferente (túnel de lavado, prensa, secadoras, calandra, plegadora) que también se suelen vender y utilizar conjuntamente. Por lo tanto, también su concepción, diseño, fabricación y comercialización deben realizarse de forma coordinada.

Sin embargo, son mercados diferentes por lo que constituyen dos tipologías de gama distintas (Figura 1.5).

Escalonamiento

En muchos sectores industriales, una determinada tipología de producto se fabrica en varias dimensiones. El conjunto de productos de un determinado tipo pero de distintos tamaños toma el nombre de escalonamiento.

Ejemplo 1.5

Escalonamiento de gama de lavadoras

Retomando el ejemplo de la lavandería industrial, una empresa puede fabricar un escalonamiento de 6 lavadoras-centrifugadoras de dimensiones de: 7, 12, 22, 40, 55 y 110 kg (caso de la gama de lavadoras flotantes de alta velocidad de Girbau S.A.)

Opciones

Es una tercera dimensión de la gama de producto que tiene que ver con las diferentes opciones y prestaciones adicionales que puede ofrecer un determinado producto (un tipo de producto de una determinada dimensión).

Ejemplo 1.6

Opciones de gama de una lavadora

En el ejemplo de una lavadora-centrifugadora las variantes podrían ser sobre el programador (manual, automático, número de programas), la posibilidad de calentamiento del agua por vapor, el reciclaje de agua.

Condiciones o servicios de entorno

Sin formar parte propiamente de la gama, hay otros aspectos (denominados *condiciones o servicios de entorno*) que tienen una gran transcendencia en la definición, diseño y desarrollo del producto y de su gama.

Ejemplo 1.7

Condiciones y servicios de entorno de una lavandería industrial

Siguiendo con el ejemplo de una lavandería industrial, las condiciones y servicios de entorno podrían ser: la dureza del agua, condiciones admisibles en las aguas residuales, el suministro eléctrico (monofásico, trifásico, 50 Hz, 60 Hz, potencia, eventuales bajadas de tensión), las condiciones de las estructuras de apoyo (cargas, absorción de las vibraciones creadas por el centrifugado).

Las definiciones relacionadas con la gama y las condiciones de entorno pueden parecer una simple descripción de los productos de un determinado sector; sin embargo, constituyen la base para establecer criterios de gran importancia en la determinación de la gama de productos a fabricar y comercializar, y para establecer su estructura o arquitectura modular.



Figura 1.4 Tipología de gama de máquinas para lavandería de pequeña y mediana instalación: lavadoras-centrifugadoras, secadoras, planchadoras.

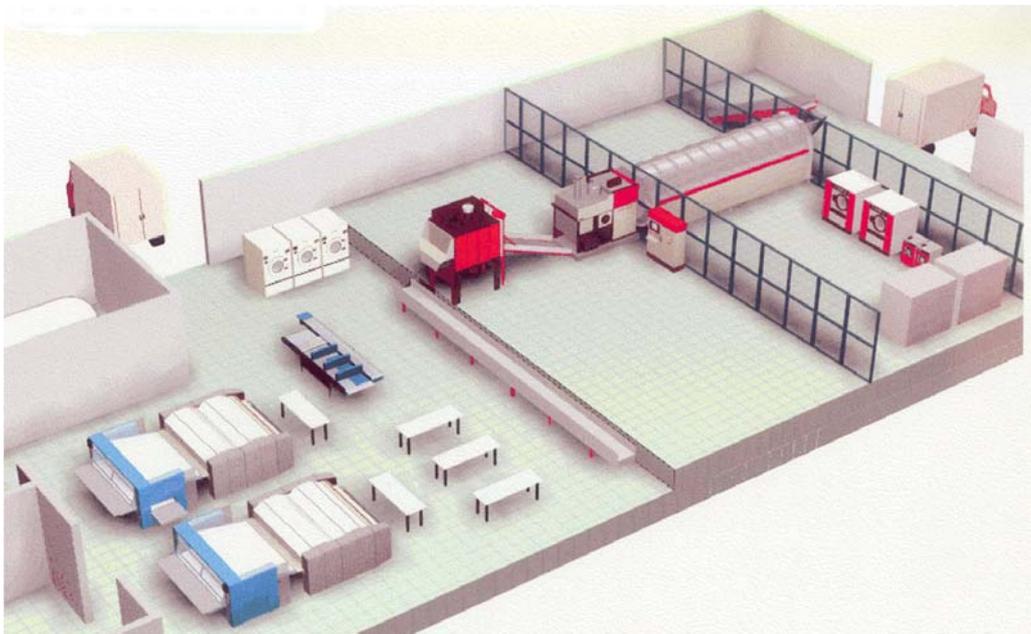


Figura 1.5 Tipología de gama de máquinas para lavandería de gran instalación: túnel de lavado, prensa, secadoras grandes, calandras y plegadoras.

1.5 Producto, empresa y mercado

Introducción

Las relaciones entre el producto, la empresa y el mercado, junto con el grado de innovación en los productos y procesos de fabricación, hacen que los proyectos de ingeniería de diseño y desarrollo sean realidades complejas que puedan ser observadas desde distintas perspectivas.

Cada uno de los puntos de vista caracteriza un aspecto del proyecto y la multiplicidad de combinaciones que resultan hace que el diseñador se halle ante situaciones muy diferentes a las que debe saber entender, valorar y adaptarse.

En esta sección interesa analizar los productos desde diversos puntos de vista que tienen incidencia en las actividades de diseño, y que son:

- Origen del producto y tipos de fabricación
- Grado de innovación en el producto
- Grado de innovación en el proceso
- Relación con el mercado

Origen del producto y tipos de fabricación

Uno de los aspectos que más influye en los trabajos de diseño y desarrollo de un producto son su origen y el tipo de fabricación:

Sistema o máquina única o fabricada en pocas unidades

Suele ser un sistema o máquina de mediana o gran complejidad (generalmente un bien de equipo) que tiene el origen en un encargo definido por un conjunto de especificaciones iniciales. En general, la venta se produce en un contexto competitivo entre varias empresas que hacen ofertas sobre principios de solución, plazos y precios.

Hay que optimizar el coste del diseño ya que su repercusión en el conjunto del proyecto es muy elevada. Ante la duda se opta por elementos sobredimensionados (ya que cualquier retoque es muy caro) y por soluciones probadas (componentes de mercado). El proyecto requiere una buena programación y el sistema de fabricación es básicamente manual.

Ejemplo: Tren de laminación; Sistema de manipulación y clasificación de cajas para una aplicación específica.

Productos fabricados en pequeñas y medianas series

Muchos productos y bienes de equipo son fabricados en series comprendidas entre 50 y 5000 unidades por año y suelen comprender un cierto número de variantes.



Figura 1.6 Producto fabricado en pequeña serie: *Módulo de andén de geometría variable*: módulo y banco de ensayo (F. Generalitat de Catalunya S.A.)

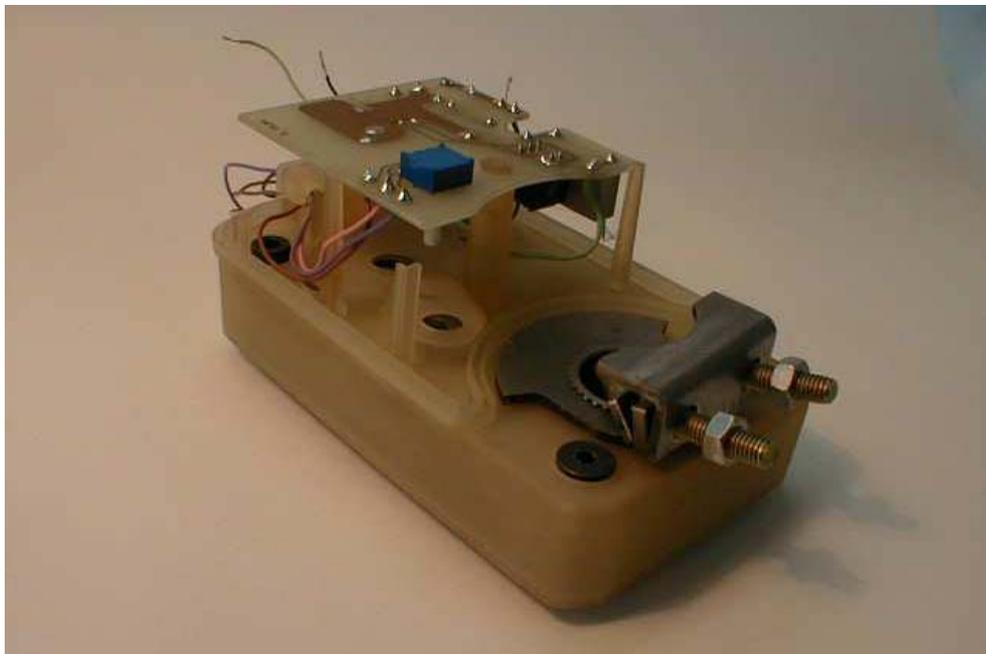


Figura 1.7 Producto fabricado en grandes series: *actuador de válvula*; prototipo funcional obtenido con técnicas de prototipado rápido (Airtècnics S.L.)

En principio, la empresa realiza una oferta al mercado en base a una definición del producto y al establecimiento de la especificación antes de iniciar las ventas y con independencia de clientes concretos, pero no es raro que se negocien determinados aspectos con clientes importantes. El diseño y desarrollo del producto, cuyo coste ya no es tan crítico puesto que se repercute en un mayor número de unidades, puede permitir una optimización y la validación de las soluciones en base a prototipos y ensayos. La producción puede ejecutarse en series cortas y la automatización debe ser forzosamente limitada.

Ejemplo: Pinza de robot de soldadura por puntos; Módulo de andén de geometría variable (Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya S.A; ver Figura 1.6).

Productos fabricados en grandes series

En este caso, la definición del producto y el establecimiento de las especificaciones se producen de forma totalmente desligada de la venta a los futuros compradores y, por ello, deben de ser determinadas por medio de técnicas de márketing. El diseño debe ser muy cuidado y contemplar equilibradamente todos los puntos de vista del producto, ya que cualquier error o falta de calidad tiene consecuencias económicas de grandes dimensiones. La existencia de variantes es contemplada por el fabricante pero, fuera de las propuestas, no se negocian con el comprador. Aún estando condicionada por el acierto en las etapas de definición y concepción del producto, hay acciones de márketing que facilitan la comercialización (política de precios, facilidades financieras, garantías, servicios posventa).

Ejemplo: Productos de consumo: una nevera, un automóvil; también productos industriales: una cerradura, un actuador de válvula (Airtècnics S.L.; ver Figura 1.7).

Grado de innovación del producto

Según el grado de innovación del producto que determina en gran medida el proceso de diseño y desarrollo, se pueden distinguir los siguientes casos:

Diseño original

Implica la elaboración de un principio de funcionamiento original para el producto o para un subconjunto, tanto si éste realiza una función nueva como una función similar. Los diseños originales se caracterizan por el hecho de que no se dispone de precedentes que sirvan de guía y, en consecuencia, conllevan una tarea laboriosa e imaginativa en las etapas de definición del producto y de diseño conceptual.

Ejemplo: Máquina universal de clasificar monedas. El enunciado exigía clasificar cualquier tipo de moneda independientemente del material, forma y dimensiones. Existen precedentes sobre la forma de detección de las monedas pero los principios de clasificación conocidos se basan en sistemas mecánicos (y por ello, no universales al depender de la forma y dimensiones). Se tuvo que idear un transporte de monedas de acción positiva por medio de un nuevo concepto de cadena formada por eslabones accionados por fricción y que se empujan mutuamente unas a otras (sistema patentado; Ibersélex S.A., Figura 1.8).



Figura 1.8 Diseño original: *Máquina universal de clasificar monedas*; prototipo funcional (Ibersélex S.A.)



Figura 1.9 Diseño de adaptación: *Unidad monooperada de recogida de basura de carga lateral*; modelización 3D (Ros Roca S.A.)

Diseño de adaptación

Implica la adaptación de un principio de funcionamiento conocido a una función distinta o la resolución de una función conocida por medio de un principio de solución diferente. En este tipo de diseño, en general es necesaria la elaboración de soluciones originales para algunos de los elementos o subconjuntos.

Ejemplo: Unidad monooperada de recogida de basura de carga lateral. Se propuso diseñar el elevador de contenedores en base a una nueva cinemática y un motor hidráulico rotativo (Ros Roca S.A., ver Figura 1.9).

Diseño de variante

Tan solo implica la variación de las dimensiones o de la disposición de determinados elementos o subconjuntos, sin que existan cambios en el principio de funcionamiento ni de la función. La etapa de diseño conceptual es mínima, mientras que el peso recae en las etapas de diseño de materialización y de detalle.

Ejemplo: Nueva lavadora-centrifugadora de alta velocidad de 40 kg para completar la gama existente de 7, 12, 22, 55 y 110 kg (Girbau S.A.)

Grado de innovación en los procesos

Los productos maduros operan en un mercado fuertemente competitivo donde los elementos clave suelen ser el aumento de la productividad y la mejora de la calidad, a través de los procesos de fabricación y de la maquinaria y utillaje. La innovación en la producción se aprecia en tres áreas principales:

Nuevas formas de gestión

Las nuevas formas de organización (grupos de diseño pluridisciplinarios, estructura matricial, organización por líneas de producto), de gestión (designación de un gestor de proyecto) y metodológicas (implantación de sistemas de calidad) inducen algunas de las mejoras de productividad más espectaculares. En general, estas nuevas formas de gestión se apoyan en herramientas informáticas que proporcionan la máxima eficacia en la gestión (sistemas CAD/CAE y CAD/CAM; PDM, o gestión de datos de los productos; técnicas CIM de gestión integrada de la fabricación; y, últimamente, ingeniería colaborativa basada en internet).

Nuevos procesos de fabricación

Hay nuevos procesos (corte por láser y por agua, técnica MIM, hidroconformado, proyección térmica) u otros ya más conocidos (electroerosión, corte fino, sinterizado, microfusión, coextrusión, soldadura por ultrasonidos, termoconformado, punzonado con CN) que pueden impulsar saltos importantes de productividad y de calidad si se aplican con conocimiento de causa y con imaginación.

Ejemplo: un proceso de fabricación más preciso puede evitar dispositivos de referencia en el montaje o de regulación en el producto.

Automatización de la producción

De la mano de las nuevas tecnologías basadas en la informática y las comunicaciones (control numérico, robots industriales, almacenes automatizados, logística) se está consiguiendo una constante mejora de los procesos de conformación, montaje e inspección automatizados, con los consiguientes ahorros de mano de obra.

Relación con el mercado

No todos los productos inciden de la misma forma en el mercado ni siguen la misma dinámica. En este apartado se comentan los siguientes casos:

Nuevo mercado

Productos que se dirigen a una necesidad no cubierta por el mercado o no manifestada hasta el momento. El lanzamiento de un producto para un nuevo mercado comporta un gran riesgo y hay que estudiar muy bien la forma de hacerlo. Sin embargo, si el producto irrumpe con fuerza, los beneficios de la empresa pueden ser muy elevados, ya que no existe competencia. En general las producciones son inicialmente pequeñas si bien crecen muy rápido hasta que se agotan los compradores potenciales o entran en el mercado nuevas empresas. A pesar de que no siempre es así, muchos de los productos que cubren un mercado nuevo incorporan innovaciones tecnológicas.

Ejemplo: las cámaras fotográficas digitales han abierto un nuevo mercado especialmente dirigido a sectores de profesionales que requieren de forma rápida imágenes de calidad aceptable y sean fácilmente tratables por sistemas informáticos.

Mercado de ampliación

Productos que cubren un mercado existente en fase de extensión a nuevos compradores. Generalmente, a los productos que se dirigen a una ampliación de mercado se les incorporan nuevas prestaciones y/o disminuciones de precios para incentivar la adquisición por nuevos compradores.

Ejemplo: Teléfonos móviles con nuevas funciones de comunicación han ampliado el mercado hacia el sector de los jóvenes.

Mercado maduro

Productos que satisfacen una necesidad ya cubierta del mercado en régimen de fuerte competencia y precios muy ajustados.

En general, son productos de elevada calidad y precios muy ajustados, basados en tecnologías maduras, que compiten en gran medida gracias a la introducción de innovaciones en las tecnologías y procesos de fabricación y en su gestión.

Ejemplo: El automóvil, la nevera, el televisor (compiten en precio y calidad)

Cabe decir que los conceptos expuestos en relación al mercado tienen carácter dinámico, y lo que hoy es un mercado nuevo, dentro de poco será de ampliación y más tarde un mercado maduro. Las empresas deben saber situarse en este contexto dinámico y aprovechar las oportunidades en función de sus capacidades.

1.6 Fuentes de información y antecedentes

Introducción

Un aspecto clave para el correcto desarrollo de un producto es disponer de una información adecuada y suficiente. Por ejemplo, dedicar esfuerzos a un proyecto sin haber hecho una búsqueda de patentes o sin haber analizado los productos de la competencia constituye un gran riesgo y, en el mejor de los casos, una pérdida de tiempo y recursos. Dado que normalmente parte de la información necesaria no existe o no está disponible, las empresas deben impulsar activamente la creación y la actualización de una base de información que apoye sus actividades y proyectos.

La información en una empresa, tanto si procede de entornos industriales y del mercado como de ámbitos científicos y tecnológicos, presenta dos vertientes distintas: por un lado, existe la búsqueda genérica de información que incide en su estrategia general; y, por otro, la búsqueda de la *información específica* necesaria para el desarrollo de un determinado proyecto. El tratamiento sistemático de la información, especialmente la estratégica, toma el nombre de *vigilancia del entorno*.

Hasta no hace mucho, la información se obtenía básicamente en soporte papel (libros, revistas, catálogos) y de actividades presenciales (visitas a clientes e instalaciones, productos de la competencia, visitas a ferias).

Sin quitar valor a estos medios tradicionales, hoy día *internet* está siendo el medio más ágil para obtener información, no tan solo por la facilidad de conexión a un gran número de *bases de datos* (artículos de revistas, tesis doctorales, trabajos de investigación, archivos de patentes) y *webs comerciales* (información de empresas, catálogos de productos, listas de precios, consultas) sino también por las herramientas cada día más potentes para la búsqueda metódica de información.

Durante el proceso de diseño de un producto las fuentes de información y los contenidos más útiles en la generación de alternativas y la toma de decisiones, son:

Fuentes de información

- Bibliografía: textos de referencia; revistas especializadas; comunicaciones a congresos; patentes; catálogos; manuales de instrucciones y de mantenimiento.
- Estudios de mercado (existentes o encargados por la empresa): tendencias de la demanda; evaluaciones de los clientes; incidencias y reparaciones.
- Ferias y visitas: observación de novedades; visitas a clientes; comentarios y reacciones sobre puntos fuertes y puntos débiles de los productos.
- Productos de la competencia: análisis de soluciones; deducción de materiales y procesos de fabricación; obtención de datos sobre funcionamiento y sobre materiales a partir de ensayos.

Contenidos de las informaciones

- Mercado: volumen de ventas, precios y tendencias
- Competencia: productos que ofrece y prestaciones
- Tecnologías: evolución de las tecnologías usadas en el sector
- Procesos: evolución de los procesos usados en el sector
- Legales: reglamentos y normas aplicables al sector; limitaciones por patentes
- Costes: de la propia empresa y de la competencia; (materiales y mano de obra)

Comentarios sobre la información en relación al proceso de diseño

Las fuentes genéricas (textos, artículos) suelen tratar aspectos básicos sin profundizar en la aplicación, mientras que las informaciones específicas sobre productos (catálogos, propaganda) suelen explicar lo que se supone que tiene un valor comercial.

Las patentes (más abundantes de lo que uno piensa) proporcionan dos tipos de información útil: por un lado, explican con detalle el objeto patentado y, por otro, ofrecen la referencia legal de lo que está protegido. Sin embargo, una patente no es garantía de aplicabilidad, ya que las buenas ideas las sanciona el uso y el mercado.

Hay que relativizar las soluciones adoptadas por la competencia, ya que responden a sus puntos fuertes y débiles (capacidad del equipo de diseño; materiales y procesos de fabricación disponibles, requerimientos de su mercado local).

Debido a que la búsqueda en fuentes externas (bases de datos, webs, documentos comerciales) raramente proporciona la información clara, precisa y completa que se requiere, hay que construir la información a partir de acciones directas (estudios de mercado, análisis de productos) y de acciones indirectas (detección de indicios, establecimiento de hipótesis, reconstrucción de escenarios de la competencia).

Algunas de las bases de datos que se encuentran en internet

Artículos	Dirección	Ámbito
Citeseer	http://citeseer.nj.nec.com	Artículos a texto completo
First	http://www.inist.fr	Sumarios de revistas
CBUC	http://www.cbuc.es	Sumarios de revistas
British Library	http://blpc.bl.uk	Artículos de revistas
UPC-bases de datos	http://biblioteca.upc.es/bdades	Resúmenes de artículos
Library of Congress	http://lcweb.loc.gov/z3950	Sumarios de revistas
SIGLE	http://www.cas.org/online/dbss/sigless.html	Literatura gris
REBIUN	http://www.uma.es/rebiun	Sumarios de revistas
Patentes	Dirección	Ámbito
USA Patentes	http://www.uspto.gov/	Patentes USA
USA Patentes Texto Completo	http://www.uspto.gov/patft/	Patentes USA a texto completo
European Patent Office	http://www.european-patent-office.org/	Base de datos de patentes europeas
Espacenet	http://es.espacenet.com/	Oficina española de marcas y patentes

Análisis de productos de la competencia (o benchmarking)

Una de las actividades más interesantes al iniciar un nuevo proyecto es el análisis de los productos de la competencia líderes en el mercado, ya que sus soluciones contienen (de forma implícita) informaciones concretas de gran valor.

La metodología para el análisis de productos de la competencia (o *benchmarking*) comprende, entre otras, las siguientes actividades:

1. *Ponerlo en marcha y estudiar su funcionamiento*
Este primer paso proporciona informaciones sobre su usabilidad (¿es o no fácil de manejar? ¿las instrucciones son claras?), y su comportamiento (¿cumple adecuadamente su función? ¿cumple con las prestaciones enunciadas?)
2. *Desmontarlo y analizar sus soluciones*
El desmontaje, que hay que hacer ordenadamente y anotando las incidencias, aporta informaciones importantes sobre los principios de funcionamiento, las soluciones constructivas y los componentes de mercado adoptados, así como también permite hacer las primeras deducciones sobre los materiales y procesos utilizados en la fabricación de piezas y componentes
3. *Simular o hacer pruebas del conjunto o de algunos de sus componentes*
Se pueden obtener informaciones complementarias a partir de someter al producto (o a algunas de sus partes) a simulación con herramientas informáticas o mediante pruebas y ensayos en el laboratorio. De esta manera se puede precisar, entre otros, la composición, propiedades y estados de algunos materiales o la durabilidad de determinados componentes.

El análisis de los productos de la competencia, que sigue el ciclo básico de la investigación experimental (ver Sección 2.4) busca explicaciones a los hechos y soluciones observadas teniendo presente de que, en general, no se fabrica nada que no tenga un motivo. Hay que reconstruir el proceso de diseño de la competencia a la luz del ciclo de vida de su producto y de su gama (perspectiva concurrente).

Ejemplo 1.8

Benchmarking para lavadoras-centrifugadoras

Del proceso de análisis de una lavadora-centrifugadora de la competencia se obtienen numerosas informaciones de interés, de las cuales se dan algunos ejemplos:

- a) La velocidad de centrifugación es ligeramente inferior a la enunciada (970 en lugar de 1000 min^{-1} ; puede dar argumentos al departamento comercial)
- b) El soporte del bombo tiene forma de estrella de tres brazos y es de aluminio (da indicios de su viabilidad en lo que se refiere a la resistencia a las solicitaciones y a la corrosión, aspectos sobre los cuales se tenía dudas).
- c) Se observa que los soportes de suspensión tienen un agujero no utilizado. Después de diversas suposiciones, se deduce que este agujero de más permite que el soporte no tenga mano (los soportes derecho e izquierdo son iguales).

- d) Durante un ensayo con cargas severas se observa que el sistema de control detecta el exceso de carga y no permite la centrifugación. Queda por descubrir el principio de funcionamiento por el cual detecta la sobrecarga.

Vigilancia del entorno

La *vigilancia del entorno*, también conocida con el término más restrictivo de *vigilancia tecnológica*, es una actividad estratégica de la empresa orientada a la competitividad y que tiene por objeto mantener una ventana abierta al desarrollo humano, social y tecnológico del entorno para detectar aquellos cambios y discontinuidades en la percepción de las personas, la transformación de los mercados y la evolución de las tecnologías que puedan tener incidencia en las actividades de la empresa así como en los productos y servicios que produce.

Si bien las empresas están atentas a su mercado, las enormes posibilidades de información de hoy día hacen que a menudo sólo se utilicen cuando es imprescindible y, entonces, es ya demasiado tarde. La *vigilancia del entorno* propugna unas herramientas y procedimientos específicos tanto para mantener el estado de alerta, como para utilizar eficazmente la información en las decisiones de la empresa, especialmente en aquellas de carácter estratégico (introducción de nuevas tecnologías, reordenación de la gama de productos, introducción en nuevos mercados o cambio de orientación del negocio).

Algunos de los métodos utilizados por la *vigilancia del entorno*, son:

A nivel de estrategia de empresa:

- *Grupo de prospectiva tecnológica* (grupo interno para obtener y analizar información estratégica)
- *Grupos de creatividad* (técnicos de la empresa y expertos de universidades)
- *Comités asesores externos* (formados por expertos de universidades y centros tecnológicos)
- *Servicios de información especializados* (servicios externos para obtener información especializada)

A nivel general de la empresa

- *Servicio de documentación* (servicio interno de búsqueda de información)
- *Estudios de mercado* (para detectar necesidades y preferencias del mercado)
- *Redes de tecnólogos* (contactos con universidades y centros tecnológicos)

A nivel de desarrollo de producto:

- *Talleres con clientes* (discutir con clientes ideas sobre nuevos productos)
- *Análisis de patentes* (seguimiento y análisis de nuevas patentes)
- *Benchmarking* (análisis de productos de la competencia)

*Ejemplo 1.9****Opciones para un fabricante de cámaras fotográficas convencionales***

Si un fabricante de cámaras fotográficas convencionales (imagen sobre cliché), con una posición sólida en el mercado, no está atento a la aparición de las nuevas cámaras digitales, las ventas pueden caer de golpe en pocos años (el tiempo en que las cámaras digitales bajen de precio). La empresa puede seguir diversas estrategias:

a) *Prepararse para competir en la nueva tecnología*

Esta opción siendo la más arriesgada es la que tiene más futuro. Sin embargo requiere que la empresa tome decisiones estratégicas como adquirir la nueva tecnología (eventual colaboración con universidades y centros tecnológicos), adapte el equipo humano a la nueva tecnología (formación, nuevas contrataciones), transforme los sistemas productivos (nuevos procesos, nuevo equipo) y establezca nuevas formas comerciales (adaptación al nuevo perfil de los usuarios, nuevos canales de venta, asociación con una empresa informática).

b) *Buscar un nicho en el mercado de la fotografía convencional*

Por ejemplo, identificar un mercado de cámaras fotográficas convencionales de calidad para sectores artísticos o artesanales de la fotografía. Esta opción no evita la vigilancia sobre mercados alternativos ni el seguimiento de la evolución de la fotografía digital, ya que ésta puede acabar incidiendo en los sectores tradicionales, aunque sea para el posterior tratamiento de la imagen.

c) *Incorporarse a un grupo más grande*

Ésta es una opción razonable para aquellas empresas que han llegado tarde o que ni su estructura ni su dimensión les permite abordar este cambio.

d) *Prepararse para abandonar el negocio*

Suele ser el caso de empresas poco dinámicas y con plantillas de edad avanzada.

*Ejemplo 1.10****Vigilancia del entorno para un fabricante de cosechadoras de caña de azúcar***

En una empresa de estas características, la vigilancia del entorno significa estar atento a informaciones como las siguientes:

- * ¿Cuáles son las tendencias cuantitativas y cualitativas en el consumo de azúcar en los diferentes países y en las diferentes culturas?
- * ¿Cómo evoluciona y dónde la producción de azúcar de caña y de remolacha?
- * ¿Evolucionan las técnicas de cultivo de la caña de azúcar?
- * ¿Qué innovaciones introduce la competencia en estas máquinas o en productos análogos (otras cosechadoras, maquinaria de obras públicas)?
- * ¿Qué mejoras ofrecen los suministradores de componentes?
- * ¿Cómo evolucionan las normas y directivas que afectan estas máquinas? ¿Cómo estar presente en los Comités de Normalización?

1.7 Simulación, ensayo y evaluación

Simulación

Simular es representar el funcionamiento de un sistema por medio de otro que se comporta de forma análoga. Hoy día, la mayor parte de simulaciones en el diseño de productos se basan en modelos y cálculos informáticos (*simulación virtual*, predicen el comportamiento de los sistemas antes de su realización física). Los recientes desarrollos en las tecnologías de la información y las comunicaciones proporcionan herramientas muy potentes en este campo, cuya capacidad y velocidad son decisivas en la mejora de la modelización y la simulación de los productos.

Las herramientas de simulación virtual (o *sistemas CAE*, ingeniería asistida por ordenador) cada más son más complejas y alcanzan un número creciente de campos de la ingeniería a la vez que tienden a considerar simultáneamente distintos aspectos del diseño, por lo que es previsible que su evolución sea uno de los principales impulsores de la innovación en el diseño durante los próximos años.

Entre las principales herramientas de simulación virtual en la ingeniería de diseño, han adquirido una gran popularidad y aceptación los sistemas de *visualización y animación*, especialmente útiles en el diseño industrial (formas y aspecto, antes de materializar el producto) y los sistemas de *análisis por elementos finitos* (o *FEA*) útiles para simular el comportamiento y estimar la vida de piezas y conjuntos (antes del ensayo). Últimamente se están generalizando los sistemas de *simulación mecánica* (integran animación y cálculo) y los sistemas de *realidad virtual* que están llamados a convertirse en herramientas de gran potencialidad. También hay que destacar las *simulaciones específicas* que cada usuario se construye para modelizar y simular aspectos básicos del problema.

Simulaciones específicas

En aplicaciones concretas, y en base al buen conocimiento que las empresas suelen tener de sus productos, son muy útiles las simulaciones numéricas que relacionan los principales parámetros de un sistema (valores de la especificación, determinación de potencias y consumos, cálculos de resistencia y deformación de elementos críticos, estimación de la vida o evaluación de costes). Para estas simulaciones, que suelen constituir unas magníficas herramientas de diseño en las etapas de elaboración de alternativas conceptuales, en general basta una simple hoja de cálculo.

Caso 1.4

Simulación específica de dispositivo para controlar la fuerza entre dos rodillos

En una aplicación determinada había que regular la distancia entre dos rodillos entre 0 y 0,5 mm manteniendo la fuerza en unos 250 N con una variación admitida

pequeña. Se pensó en una solución basada en la actuación de 4 muelles para lo que se disponía de espacios relativamente limitados en diámetro y longitud.

En base a una hoja de cálculo, y como herramienta de apoyo al diseño, se creó un pequeño programa específico de simulación donde están presentes todos los parámetros del entorno del problema. A continuación se muestra la exploración de las variaciones de la tolerancia de fuerza entre los rodillos en los resultados (longitudes del muelle, tensiones de trabajo, control del pandeo por esbeltez).

Simulación de dispositivo para apretar dos rodillos

parámetros de entrada								
Campo de regulación de la separación de rodillos	$\Delta\delta$		mm	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Fuerza entre los rodillos	F		N	250	250	250	250	250
Tolerancia de la fuerza entre los rodillos	ΔF		N	4	5	6	7	8
Número de muelles	N		(--)	4	4	4	4	4
Módulo de rigidez material del muelle (AISI 301)	G		MPa	75000	75000	75000	75000	75000
parámetros de diseño								
Espesor alambre del muelle	d		mm	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
Diámetro espira del muelle	D		mm	10	10	10	10	10
Factor de esbeltez del muelle (según extremos)	v		(--)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
resultados								
Rigidez del muelle	K	$\Delta F/(4 \cdot \Delta\delta)$	N/mm	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
Longitud precompresión inicial del muelle	δ	$F \cdot \Delta\delta / \Delta F$	mm	31,25	25,00	20,83	17,86	15,63
Relación de enrollamiento	C	D/d	(--)	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
Número de espiras útiles	N	$d^4 \cdot E / (8 \cdot D^3 \cdot K)$	(--)	11,4	9,2	7,6	6,5	5,7
Tensión cortante material muelle	τ	$8 \cdot D \cdot ((F + \Delta F) / 4) / (\pi \cdot d^3)$	MPa	828	831	834	838	841
Longitud de bloque del muelle	Lb	$(N + 2) \cdot d$	mm	16,8	13,9	12,0	10,7	9,7
Longitud inicial del muelle (margen 20%)	Lo	$Lb + (\delta + \Delta\delta) \cdot 1,2$	mm	54,9	42,0	35,5	30,9	27,4
Longitud final del muelle	Lf	Lo - δ	mm	23,7	17,0	14,7	13,0	11,8
Deformación unitaria máxima del muelle		$(\delta + \Delta\delta) / Lo$	(--)	0,58	0,61	0,60	0,59	0,59
Esbeltez del muelle		$v \cdot Lo / D$	(--)	2,75	2,10	1,78	1,54	1,37

Visualización, animación y realidad virtual

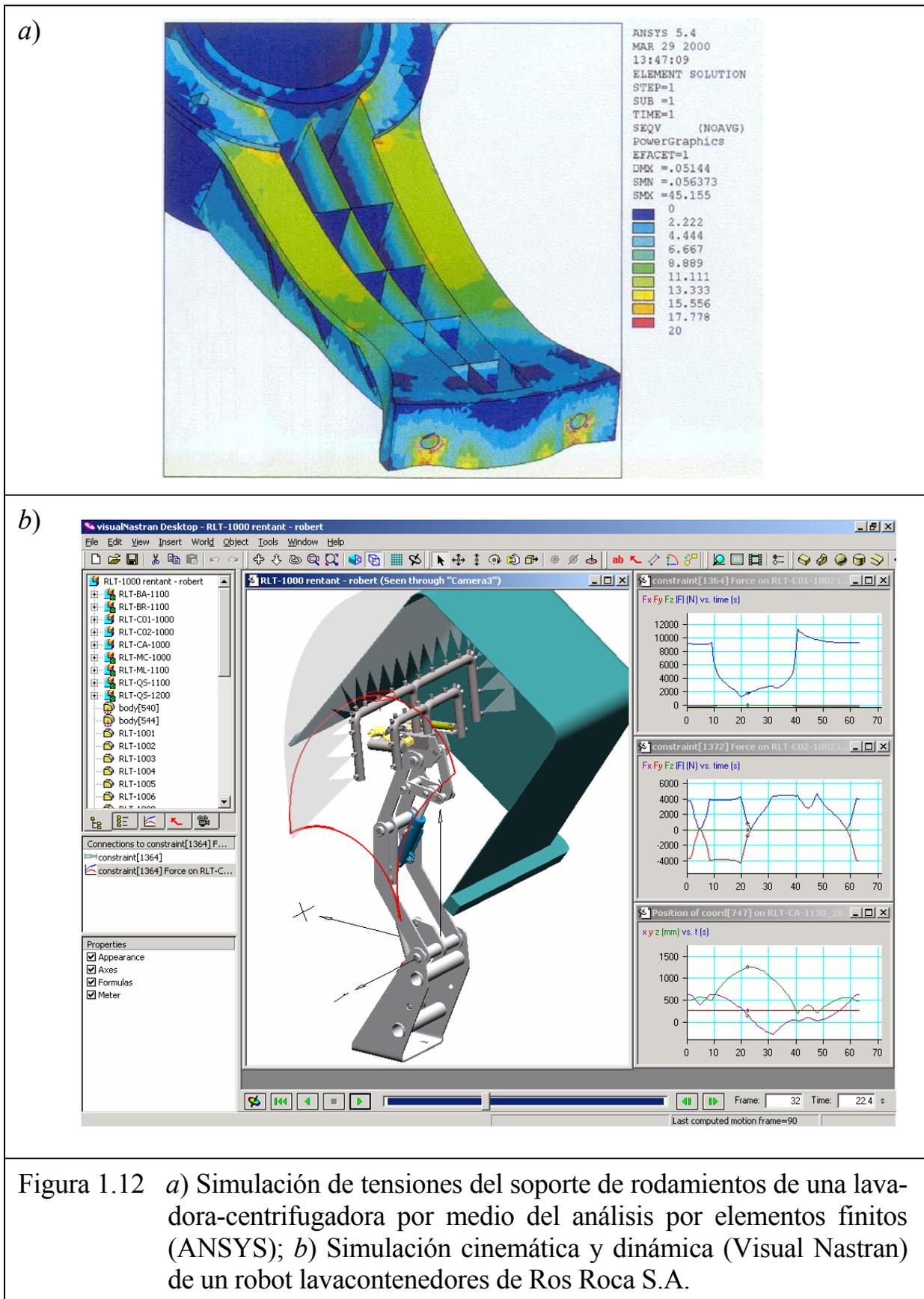
Las herramientas de *visualización* (o de *rendering*) permiten, en base a modelos de CAD tridimensionales, crear imágenes fotorealistas de productos y escenarios que incorporan efectos como puntos de vista, focos de luz, creación de sombras, texturas de las superficies, transparencias, reflejos de la luz y la aplicación de rótulos.

Muchas de ellas también incluyen sistemas de *animación* (cinemática) para simular aspectos como movimientos en el funcionamiento habitual del producto, secuencias de montaje/desmontaje, interacción entre componentes, y explosionados.

Los sistemas de *realidad virtual* constituyen las herramientas más evolucionadas en el campo de la visualización y animación y están destinadas a tener un gran desarrollo en el futuro. Como rasgo destacado cabe señalar que el observador puede interactuar con objetos simulados que percibe en escenarios tridimensionales.

Método de los elementos finitos

Herramientas de simulación que, a partir de una descomposición en elementos sencillos (o *elementos finitos*), permite aplicar diversas leyes físicas (mecánica, fluidos, calor, electromagnetismo) a sistemas de formas geométricas complejas y arbitrarias.



Su aplicación más habitual es el análisis de tensiones y deformaciones en sistemas elásticos, pero cada día son más frecuentes otras aplicaciones como las deformaciones plásticas en el choque y en la conformación de piezas, el comportamiento de los fluidos, el llenado de moldes de plástico, el flujo del calor, el estudio de las dilataciones térmicas, los campos eléctrico y magnético, así como la consideración simultáneas de dos o más de estos fenómenos (tensiones de origen térmico, piezo-electricidad).

Caso 1.4

Simulación y ensayo del soporte de rodamientos de una lavadora-centrifugadora

La Figura 1.12a muestra el resultado del análisis por elementos finitos de las tensiones en el soporte de rodamientos de una lavadora-centrifugadora sometida a las cargas más críticas durante el centrifugado. Esta pieza fue fabricada y ensayada en una máquina y las medidas extensiométricas de los ensayos se compararon con los resultados de la simulación. El ciclo de simulación, ensayo, medida y correlación de resultados ha permitido establecer criterios para optimizar componentes análogos en máquinas futuras (trabajos realizados en Girbau S.A.).

Simulación dinámica

Consiste en la simulación dinámica de prototipos virtuales en tres dimensiones que incluyen mecanismos y sistemas mecánicos móviles formados por diversos miembros y elementos específicos para simular los enlaces, los motores y receptores y otros dispositivos como las correas.

Estos sistemas CAE permiten obtener, entre otros, la evolución de las posiciones, velocidades, aceleraciones, fuerzas, momentos, energía y potencia durante el ciclo de trabajo del sistema (ver la Figura 1.12b), así como eventuales colisiones entre los miembros del conjunto estudiado. Cada vez será más habitual la integración con el cálculo por elementos finitos de los elementos del mecanismo más solicitados. También pueden incluir otras utilidades como el cálculo de fatiga.

Simulación y diseño

Las *simulaciones virtuales* tienen un triple objetivo durante el diseño: *a)* Comprobar que las soluciones generadas están de acuerdo con los principios de la ciencia y de la técnica; *b)* Prever los efectos deseados; *c)* Optimizar las soluciones.

Sin embargo, dada la complejidad de la realidad, las simulaciones parten de modelos necesariamente simplificados. Por ejemplo, se pueden evaluar tensiones y deformaciones, pero difícilmente se podrá tener en cuenta la influencia de aspectos como la corrosión de los materiales a lo largo del tiempo o las variaciones debidas al comportamiento humano o al entorno. Así pues, las herramientas de simulación proporcionan una aproximación a la solución, pero no siempre es recomendable tomar sus resultados (al menos de forma exclusiva) como base para la validación final del producto.

Prototipaje y ensayo

El ensayo con prototipos físicos tiene dos ventajas respecto a la simulación virtual:

- a) Reproduce con más fidelidad el comportamiento real del futuro producto
- b) Pone de manifiesto circunstancias y modos de funcionamiento difíciles de imaginar en un contexto de simulación virtual.

Por lo tanto, antes de validar un producto e iniciar su producción en serie, conviene realizar ensayos con prototipos físicos que, más allá de confirmar o no los resultados de la simulación, pueden hacer aparecer fenómenos (ruido, atascos, calentamientos, desgastes) o usos (manipulaciones, sobreesfuerzos, golpes) no previstos.

El inconveniente es que previamente hay que construir los prototipos y preparar el banco de ensayo y la instrumentación aspectos que suelen consumir grandes recursos económicos y de tiempo. Sin embargo, la tentación de eludir esta etapa puede acarrear más adelante graves consecuencias cuando el producto esté en el mercado. Sólo si se dispone de una buena correlación entre el comportamiento del producto en el mercado y los resultados de la simulación, pueden aceptarse estos resultados (siempre con prudencia) como base para la evaluación final del producto.

Sistemas más ágiles para fabricar prototipos y útiles

La realización de muchos prototipos (algunos de los metálicos y la mayoría de los basados en polímeros) conlleva la construcción previa de útiles específicos (modelos, moldes, matrices) de elevado coste y tiempo de fabricación que a menudo deben rehacerse debido a modificaciones derivadas de los resultados de los ensayos.

Eso se debe en gran medida a las diferencias de características y de comportamiento que presentan los componentes fabricados con procesos y útiles de producción (forja, fundición, extrusión, inyección, termoconformado) respecto a los prototipos realizados con medios artesanos (mecanizado, encolado, soldadura). Estas diferencias, especialmente acusadas en los componentes plásticos y de elastómero (estabilidad dimensional, alabeo, resistencia mecánica, comportamiento térmico, condiciones de deslizamiento, texturas superficiales, transparencias, detalles constructivos) dificultan las decisiones ya que el riesgo de las inversiones es muy elevado.

Para resolver esta dificultad, se viene trabajando en varias tecnologías para la fabricación de *prototipos rápidos* en la etapa de desarrollo y de *útiles rápidos* en la etapa de industrialización. La principal ventaja de estos sistemas es que permiten obtener prototipos y series pequeñas de piezas casi idénticas al modelo de CAD 3D en un tiempo muy corto y con una relación calidad/precio favorable.

El principal inconveniente de los prototipos rápidos está en que no siempre reproducen todas las características de las futuras piezas de serie (resistencia mecánica, transparencia, propiedades superficiales), mientras que la principal limitación de los útiles rápidos es que sólo permiten fabricar un número limitado de piezas antes de deteriorarse. Sin embargo, permiten validar diversos aspectos del diseño (estética, dimensiones y montaje; en ciertos casos, resistencia mecánica) y de la fabricación (partición, facilidad de moldeo), de manera que se acortan los tiempos, disminuye el riesgo en las inversiones y en definitiva, fomentan la innovación en los productos.

Prototipos rápidos (en inglés, rapid prototyping)

Son técnicas que permiten convertir un modelo virtual de CAD 3D directamente en un prototipo físico. A diferencia de otros procesos que eliminan material (mecanizado a alta velocidad, electroerosión), los sistemas de prototipaje rápido se basan en la superposición de capas finas de material que componen la forma de la pieza y la geometría del modelo virtual traducida a formato STL proporciona las sucesivas secciones. Una de las grandes ventajas de estos sistemas es la simplicidad del proceso en una sola operación, en contra de la multiplicidad de herramientas y operaciones que requieren los procesos de prototipaje convencionales. Los sistemas de prototipaje rápido más habituales son:

SLA, estereolitografía

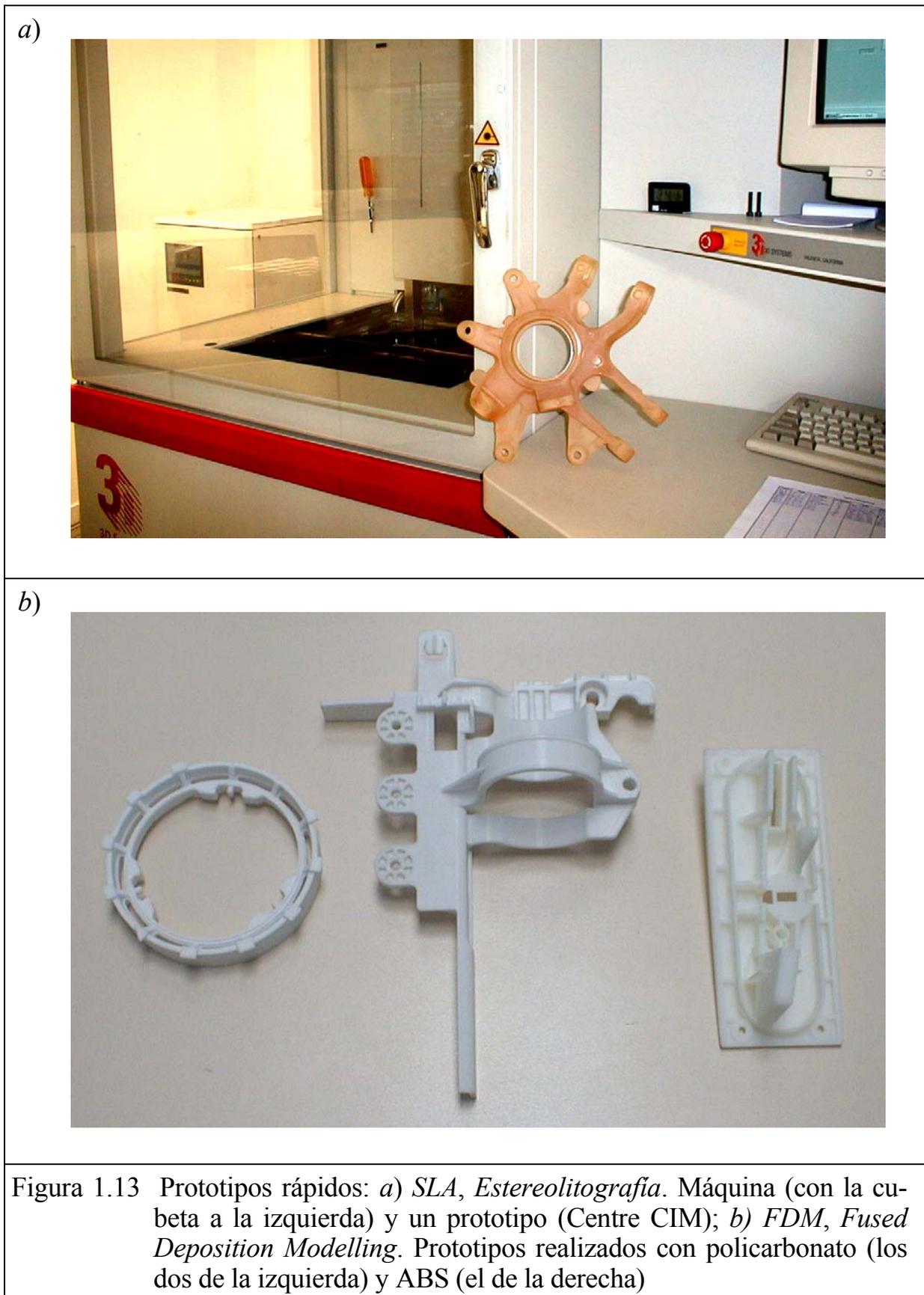
Las capas se forman por polimerización de una resina líquida fotosensible (epoxi o acrílica) debido a la incidencia de un rayo láser que recorre cada sección (Figura 1.13a; carcasa de la Figura 1.9). Reproducen fielmente las formas y detalles y, a pesar de que inicialmente las propiedades divergían mucho de las de los materiales definitivos (resistencia mecánica baja, frágiles, propiedades deslizantes pobres), últimamente se están dando importantes mejoras en las propiedades mecánicas.

SLS (selective laser sintering), sinterizado

Proceso muy versátil en lo que se refiere a materiales (PA, PS, elastómero, cobre-poliamida, acero inoxidable infiltrado con bronce). Las capas se forman por fusión (o sinterizado) de la superficie del material gracias a la acción de un rayo láser que recorre las sucesivas secciones. Los prototipos son funcionales (admiten el ensayo) y la producción de series reducidas de piezas pequeñas empieza a ser económica. El sinterizado con metal permite construir útiles rápidos.

FDM (fused deposition modelling), extrusión

Las sucesivas capas se forman por la extrusión de material fundido sobre la superficie y requiere de un acabado. Permite realizar prototipos funcionales (Figura 1.13b) con materiales definitivos (PC, PSU, ABS) pero el proceso es costoso debido al tiempo que comporta el desplazamiento físico del cabezal de extrusión. Si se resuelve este inconveniente, puede ser una alternativa muy interesante en el futuro.



Útiles rápidos (en inglés, *rapid tooling*)

La electroerosión, el mecanizado por láser o el mecanizado a alta velocidad han dado lugar a mejoras muy considerables en la fabricación de útiles convencionales. Sin embargo, la fabricación de *útiles rápidos* (o los insertos con las improntas del punzón y de la cavidad de los moldes y matrices) se basan en la aportación de material, de forma análoga a los prototipos rápidos. Los principales sistemas son:

RTV (room temperature vulcanization), colada al vacío con molde de silicona

Proceso de obtención de piezas de resina de poliuretano a partir de un modelo por medio de la colada al vacío en un molde de silicona. Para crear el molde se recubre un modelo prototipo (pieza existente, u obtenida por prototipaje rápido) con silicona que, una vez curada, se parte y da lugar a la cavidad del molde (Figura 1.14a). La rápida degradación del molde tan sólo permite obtener un número limitado de piezas (de 10 a 40), pero el sistema ofrece una gran versatilidad en las características de las piezas funcionales obtenidas (desde elastómero hasta componentes reforzados) y en sus dimensiones (desde piezas pequeñas hasta piezas grandes).

Deposición electroquímica de níquel y cobre

Proceso que consiste en recubrir por electrodeposición un modelo de estereolitografía con níquel o cobre, fijar el conjunto a un portamoldes y llenar de un material de refuerzo de bajo punto de fusión para finalmente extraer el modelo. El CENTRE CIM utiliza el sistema *Coproin-mold* (Figura 1.14b), basado en una patente española, que permite fabricar entre 500 y 2000 piezas con el plástico definitivo.

SLS (selective laser sintering), sinterizado con poliamida-cobre

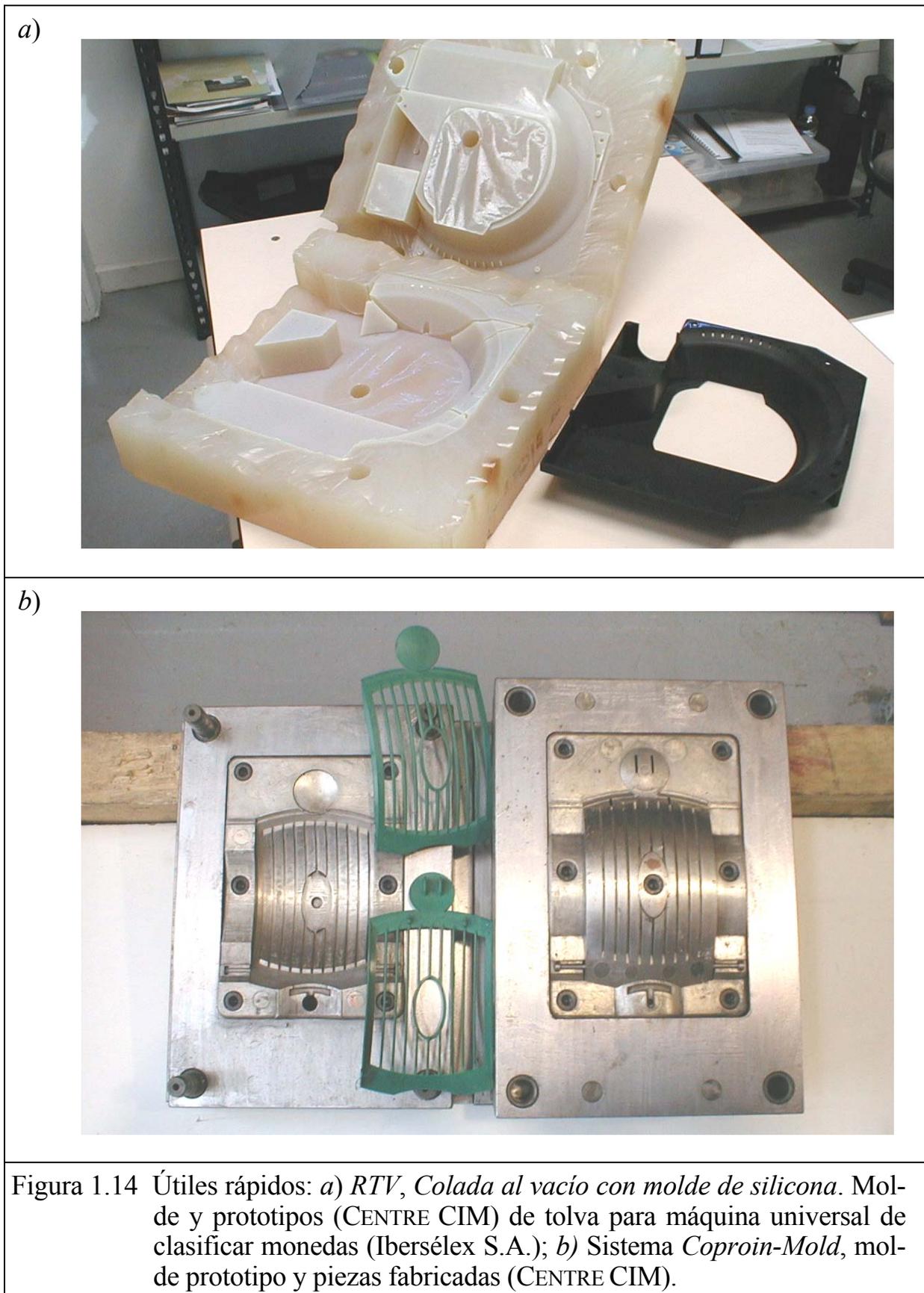
Proceso de sinterizado análogo al descrito en el prototipaje rápido pero que utiliza polvos de material compuesto de poliamida-cobre (sin proceso posterior al horno) para obtener las improntas del punzón y cavidad del molde. Se pueden fabricar un número muy limitado de piezas funcionales (100 a 200) de dimensiones reducidas con unas condiciones de inyección muy cercanas a las de fabricación definitiva.

SLS (selective laser sintering), sinterizado directo con acero

Se inicia con el sinterizado por láser de un acero inoxidable y polímero como ligante y continúa con un proceso posterior al horno que elimina el polímero e infiltra bronce por acción capilar. Los moldes permiten hacer hasta 25000 inyectadas con material plástico y cerca de 100 con aluminio, magnesio o cinc. La principal limitación del sistema están en las reducidas dimensiones de los moldes.

DMLS (direct metal laser sintering), sinterizado con acero

Proceso análogo al SLS que se distingue por el hecho de que el material usado en los polvos que constituyen las distintas capas da lugar a una baja contracción y a una elevada densidad, por lo que no requiere infiltrante y simplifica el proceso. Permite fabricar series de hasta unes 50000 piezas con el material definitivo.



Funciones de distintos tipos de prototipos y pruebas

En el proceso de desarrollo de un producto se pueden distinguir tres situaciones en las que puede ser conveniente desarrollar prototipos y realizar pruebas:

- a) En la etapa conceptual: prototipos *preliminares* y *pruebas preliminares*, destinadas a confirmar la viabilidad de principios de funcionamiento.
- b) En la etapa de materialización: *prototipos funcionales* y *pruebas de durabilidad*, destinadas a asegurar la calidad del producto.
- c) En la etapa de lanzamiento de la producción: *preseries* y *pruebas de fabricabilidad*, destinadas a confirmar el buen funcionamiento de los procesos de fabricación.

A continuación se amplían estos conceptos.

Validar el principio de funcionamiento. Pruebas preliminares

Los productos que incluyen un *diseño original*, o un *diseño de adaptación*, deben validar los principios de solución en la etapa del *diseño conceptual* a través de alguno de los siguientes métodos:

- a) *Cualitativos*. Se realizan normalmente por un equipo pluridisciplinario, en base al diseño de un producto y a partir de consideraciones de tipo cualitativo o por medio de métodos de estimación como el *análisis de valor* (VA), o el *desarrollo de la función de calidad* (QFD). En muchos casos es suficiente para evaluar y validar las soluciones.
- b) *Simulaciones virtuales*. Se realiza sobre modelos virtuales del producto, forzosamente simplificados, y pueden aportar evaluaciones cuantitativas y criterios de mucha utilidad en la decisión de validar o no las soluciones.
- c) *Prototipos y pruebas preliminares*. Se realizan sobre prototipos físicos y permiten comprobar las hipótesis sobre determinados principios de funcionamiento o nuevos procesos de fabricación, a la vez que ponen de manifiesto aspectos difíciles de prever o de simular por los métodos anteriores.

Prototipo preliminar

Los *prototipos* y las *pruebas preliminares* son, en cierta manera, un último recurso cuando los métodos cualitativos o de simulación no disipan determinadas dudas y se producen puntos muertos en el proyecto o cuando el desconocimiento de determinados parámetros paraliza las decisiones. Llegado el caso, como más pronto se realicen, mejor. Las principales ventajas de los *prototipos* y *pruebas preliminares* son las siguientes:

- a) Evitan avanzar en una solución donde permanecen dudas sobre su viabilidad

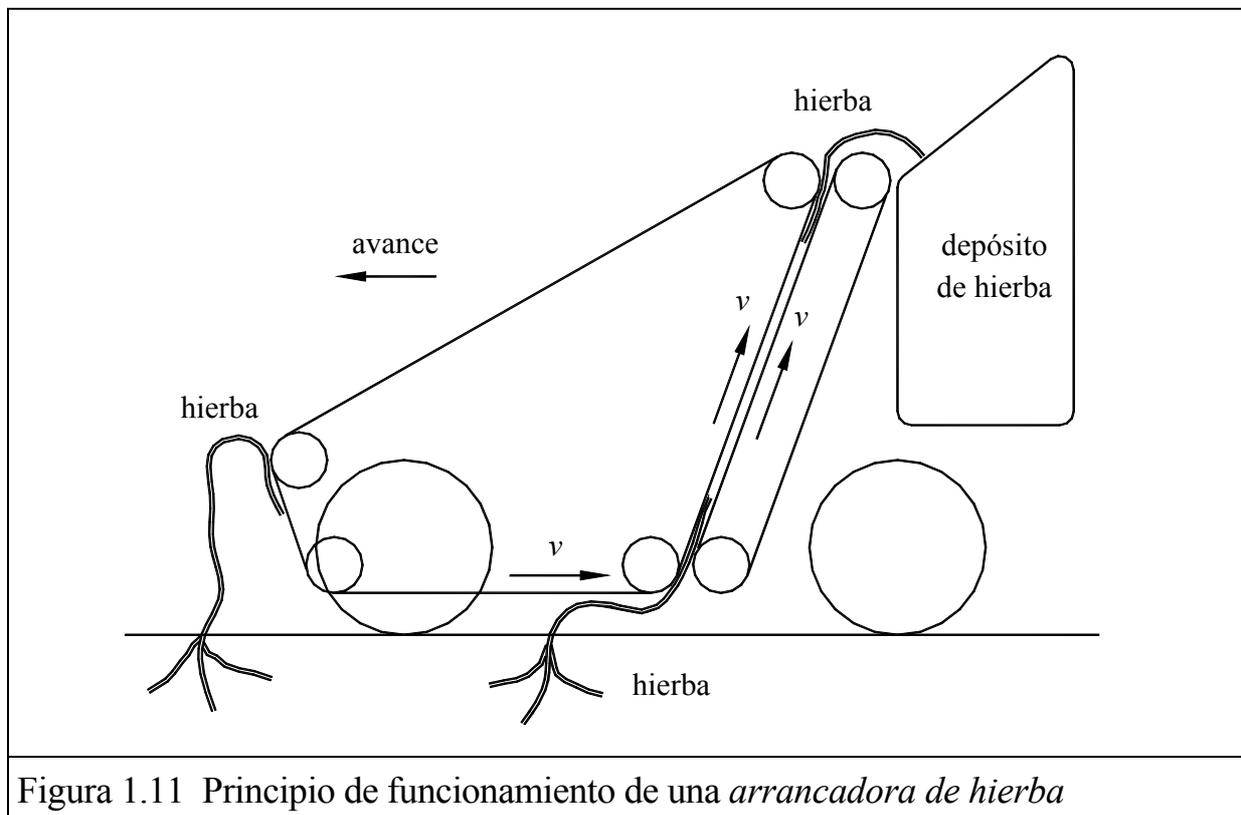
- b) Viceversa, dan solidez a los principios de solución probados
- c) Permiten detectar problemas no previstos desde etapas iniciales del diseño
- d) Permiten ajustar parámetros de diseño (dimensiones, pesos, velocidades).

Caso 1.5

Prototipo preliminar de una arrancadora de hierbas

El proyecto final de carrera de un alumno de la ETSEIB partía de este enunciado:

"La mala hierba crece muy rápidamente entre las hileras de frutales (les quita fuerza y dificulta la cosecha). Para eliminarlas, el uso de un motocultor dañaría las raíces de los frutales y una segadora dejaría las raíces de las malas hierbas; se propone desarrollar una máquina que arranque las malas hierbas enteras atrapándolas entre dos bandas móviles (Figura 1.11)."



La idea, en principio, parece factible pero no hay ninguna garantía de que funcione. El director del proyecto sugiere hacer un *prototipo preliminar* y unas *pruebas preliminares*. El alumno construye el prototipo a partir de un motor de motocicleta y de componentes de desguace y realiza unas pruebas en el huerto de su padre. El prototipo consigue arrancar las raíces de las malas hierbas en más de un 70% de los casos; el proyecto continuó y la máquina fue patentada.

Asegurar la fiabilidad. Ensayos de durabilidad

Una vez establecido el diseño de materialización de un componente, de un subgrupo o de una máquina completa, hay que realizar un *prototipo funcional* y los correspondientes *ensayos de durabilidad* que se relacionan con el deterioro que sufre el producto y sus componentes a lo largo de su funcionamiento.

La *fiabilidad* es la aptitud de un sistema o componente para funcionar correctamente durante un tiempo predeterminado. Asegurar la fiabilidad es uno de los requisitos más importantes del *diseño para la calidad* y es fruto de la aplicación de tecnologías de ensayo bien establecidas. Algunos de los ensayos *de durabilidad* más usuales son:

- a) *Ensayos de fatiga*. Se aplican ciclos repetidos de cargas de trabajo sobre determinados componentes o sobre el producto y se comprueba que resisten a la fatiga durante un tiempo suficiente (avance de la fisura o rotura).
- b) *Ensayos de desgaste*. Se aplican ciclos repetidos de movimientos o de circulaciones de fluidos sobre determinados componentes o sobre el producto y se comprueba que el desgaste de los diferentes elementos (especialmente los contactos en los enlaces o las conducciones) sean aceptables.
- c) *Ensayos de corrosión*. Se someten determinados componentes o el producto entero a ambientes corrosivos (humedad, atmósferas oxidantes u otras atmósferas) y se analizan los efectos de la corrosión con el tiempo.
- d) *Ensayos de maniobras*. Se establecen secuencias repetidas de maniobras sobre determinados componentes (especialmente sobre los dispositivos electrónicos) o sobre el producto y se comprueba que mantengan el correcto funcionamiento durante el número de ciclos previsto.

Dificultades de los ensayos de durabilidad

Hay dos tipos de dificultades inherentes a los *ensayos de durabilidad*:

1. *Condiciones de ensayo*. Es difícil de conocer y reproducir en el ensayo las condiciones reales de funcionamiento y de utilización (usos no previstos, influencia de variables del entorno). La simulación de estas condiciones en el laboratorio constituye uno de los puntos más críticos de los *ensayos de durabilidad* por lo que parte de ellos suele realizarse en condiciones operativas.
2. *Aceleración del ensayo*. Muchos de los productos tienen vidas de 5, 10, 15 o más años, y es evidente que no se puede disponer de este tiempo para realizar los *ensayos de durabilidad*, por lo que hay que aplicar técnicas para acelerarlos (eliminación de ciclos que no producen daño, como en el método *rain-flow*; o, la aplicación de condiciones más severas que las reales, como en la corrosión en *cámara salina*) y establecer criterios para interpretar los resultados.

Las técnicas de ensayo acaban constituyendo parte del *know-how* de las empresas y suelen fijarse por medio de la redacción de procedimientos. En casos donde hay relaciones de subcontratación, se establecen acuerdos sobre cargas de referencia, procedimientos, dispositivos, tiempos y condiciones ambientales por medio de un *protocolo de ensayos*.

Función estratégica de los ensayos de durabilidad

La realización de *ensayos de durabilidad* de un sistema y sus componentes durante la fase de desarrollo es la garantía para obtener una elevada *fiabilidad* del producto, uno de los aspectos principales de la calidad.

Los ensayos de durabilidad acostumbran a consumir una parte importante de los recursos y tiempos del desarrollo de un producto y, por lo tanto, puede haber la tentación de eludirlos. Algunas empresas, apremiadas por las urgencias de la comercialización pueden cometer el error de no hacer ensayos antes de lanzar el producto al mercado. Este hecho suele comportar consecuencias graves:

- a) *Pérdida de prestigio*. Una falta de fiabilidad grave (ruptura de elementos, desgastes prematuros, corrosión de piezas vitales) produce una pérdida de prestigio del producto y de la empresa difíciles de recuperar. En todo caso, la empresa debe asumir la responsabilidad y reparar los daños sin coste para el usuario.
- b) *Correcciones en casa del usuario*. Las reparaciones en casa del usuario, además de resaltar los defectos del producto, conllevan dificultades logísticas importantes en relación con los útiles y materiales y costes elevados de desplazamiento.
- c) *Multiplicación de variantes*. Un diseño no contrastado con *ensayos de durabilidad* acostumbra a desencadenar una lluvia de modificaciones posteriores (variantes de un mismo recambio, diferentes procedimientos de montaje) que tienen una repercusión muy negativa en la gestión general de la empresa.

Asegurar la fabricabilidad. Preseries

Los productos fabricados en grandes series (automóviles, electrodomésticos, ciertos componentes industriales) que suelen pertenecer a mercados maduros, además de responder a su función y de asegurar su calidad, también deben ser fabricados de forma fiable y poco costosa. En estos casos, se establece una tercera clase de prototipos (las *preseries*) y de pruebas cuyo *banco de ensayo* es la propia línea de fabricación y que tienen por misión asegurar la *fabricabilidad*.

Hay diversos aspectos a tener en cuenta en el lanzamiento de las preseries:

a) *Inicio de la preserie*

Las preseries se orientan a asegurar la fabricabilidad por lo que todos los aspectos básicos de funcionalidad y de fiabilidad deben de estar ya resueltos.

b) *Dimensión de la preserie*

Conviene no lanzar preseries de excesivo tamaño, ya que cualquier modificación afecta a un gran número de unidades; pero tampoco deben ser demasiado cortas ya que deben confirmarse tendencias. Una solución es fabricar la preserie de forma secuencial, analizando cada unidad antes de iniciar la siguiente.

c) *Homologaciones y variantes*

Las preseries son el instrumento ideal para gestionar las homologaciones y evaluar el despliegue de variantes previas a la producción.

Caso 1.6

Prototipos y preseries en el lanzamiento de un nuevo modelo de NISSAN

A continuación se describe un ejemplo del proceso de desarrollo de un nuevo vehículo con la función que tienen los distintos prototipos y preseries. NISSAN establece 5 fases, correspondiendo las 3 primeras al *diseño* y, las 2 últimas, a la *industrialización*, con una duración total de 32 meses:

<i>Diseño</i>	Fase 1.	Concepto	(Lote 0 Preliminar)
	Fase 2.	Planificación	(Lote 1 Desarrollo)
	Fase 3.	Pruebas del diseño	(Lote 2 Confirmación)
<i>Industrialización</i>	Fase 4.	Serie de pruebas de ingeniería (A)	
	Fase 5.	Serie de pruebas de producción (B-C)	

Al final de cada etapa se establecen reuniones de *revisión del diseño*, con la presencia de personas de todos los departamentos afectados, y se decide seguir con la fase siguiente o, eventualmente, cancelar el proyecto.

Fase 1. Concepto (Lote 0 Preliminar)

Abarca el período entre los meses 32 y 25 antes del inicio de la producción y el objetivo es comprobar si el desarrollo preliminar ha sido correcto, lo que se verifica al final del Lote 1 (uno o dos vehículos).

Actividades:

Se establecen unas reuniones entre los departamentos de diseño y de fabricación para poner en común experiencias de diseño y de fabricación anteriores. Se analizan los datos de calidad respecto a la producción y se tienen en cuenta las quejas o deseos manifestados sobre productos fabricados con anterioridad. Se solicita a los suministradores propuestas tecnológicas que incorporen mejoras en las prestaciones o costes del vehículo.

Se construye un modelo a escala natural y se presenta al departamento comercial. Después de la validación, se dibuja la carrocería en el CAD.

Paralelamente, se desarrollan los planos preliminares de las principales partes del vehículo (motor, estructura del chasis, suspensiones, dirección).

Lote 0 (preliminar). Se montan 1 ó 2 prototipos a partir de un vehículo modificado (la carrocería no es la definitiva) y se hacen *tests* de mercado y ensayos en pista; se revisa la Fase 1, a fin de autorizar la construcción del Lote 1.

Fase 2. Planificación (Lote 1 Desarrollo)

Abarca el período entre los meses 25 y 17,5 antes del inicio de la producción. Su objetivo es evaluar las prestaciones y funciones del vehículo montado para verificar el diseño de sus partes y sistemas (*Lote 1*: unos 25 vehículos).

Actividades:

El departamento de control del proyecto planifica y controla el diseño. El departamento de ingeniería prepara la documentación de base para la relación con los proveedores (especificaciones para la aceptación de piezas y componentes). Los vehículos son montados por personal de fabricación con los mismos métodos que seguirá la producción normal. El montaje dura unos 3,5 meses.

Se realizan varias pruebas, entre ellas de carretera (3 meses) con el objeto de verificar las prestaciones y la calidad de los diferentes componentes.

Se presta atención a pinturas, tapicerías, acabados interiores. Se actualizan los objetivos de calidad, coste y plazos, que se discuten con los suministradores.

Se solicitan modificaciones de las especificaciones y se establece la correspondiente negociación con los suministradores (calidades y precios).

Después de los ensayos se solicitan las modificaciones al departamento de diseño y a los suministradores con el objeto de aprobar los planos que serán la base para la fabricación del Lote 2 de confirmación.

Fase 3. Prueba de diseño (Lote 2 Confirmación)

Abarca el período entre los meses 17,5 y 9,75 antes del inicio de la producción. El objetivo es finalizar la etapa de desarrollo estableciendo medidas para solucionar los defectos identificados en el Lote 1, para así proceder posteriormente a las pruebas *de ingeniería*. (*Lote 1*: unos 60 vehículos).

Actividades:

Se evalúan las soluciones a los problemas identificados en el Lote 1 mediante la utilización de vehículos reales. Se da por finalizada la etapa de desarrollo.

El departamento de ingeniería monta en las instalaciones de prototipos los 60 vehículos del Lote 2 adaptados a los distintos mercados de destinación final, teniendo en cuenta las legislaciones específicas de los diferentes países.

Se pasan demandas a los proveedores para que preparen el inicio de la producción (especialmente la preparación de los útiles definitivos).

Se establecen los procedimientos para aprobar las piezas de la carrocería fabricadas con las matrices (del 60 al 70 % de la inversión del proyecto). Se fabrica un Lote específico para probar la carrocería y las modificaciones pasan al Lote

2. Las modificaciones se comunican a los suministradores para que entreguen las piezas para la serie de pruebas de ingeniería.

Después de la evaluación del Lote 2 se realizan las modificaciones finales que fijan las especificaciones definitivas para la serie de pruebas de producción B.

Fase 4. Preserie de pruebas de ingeniería (A)

Su objetivo es montar diversos vehículos en la planta de producción con las piezas y útiles de fabricación para ajustar y corregir las variaciones que se produzcan en la fabricación y montaje. Se fabrican los vehículos para la homologación. Preserie: 15 vehículos fabricados secuencialmente + vehículos para la homologación.

Actividades:

Se crea un grupo de control (márketing, ingeniería de diseño, ingeniería de producción, calidad, control de producción, y compras) dirigido por un miembro del departamento de coordinación de proyectos, a fin de asegurar el éxito de la industrialización. Tiene por objeto dar soluciones a los problemas que aparezcan en estas fases.

Preserie A: Primera fabricación en planta con los útiles de producción para detectar variaciones en la producción en serie y corregir los planos y útiles.

Se fabrican secuencialmente unos 15 vehículos lo que dura 1½ meses (el objetivo es mejorar el proceso y no la rapidez). Antes de cada nuevo vehículo, se revisan los procesos y tiempos para proceder a ajustes o modificaciones.

Se fabrican vehículos con las especificaciones correspondientes para la homologación en los distintos países en función de sus legislaciones.

El departamento de fabricación define los puestos de trabajo, las longitudes de las líneas y elabora las hojas de proceso con los correspondientes tiempos.

La realimentación obtenida en esta fase autoriza el lanzamiento de las *preseries de pruebas de producción B y C*.

Fase 5. Series de pruebas de Producción (B-C)

Su objetivo es montar en la planta de producción un número suficiente de vehículos de los distintos modelos usando piezas definitivas de los suministradores y ajustar los últimos detalles relacionados con la comercialización.

Preserie B: Se fabrican en planta unos 250 vehículos según modelos, colores y países de destino. Se envían a los concesionarios con un compromiso de confidencialidad durante 6 meses, que permite planificar la introducción del modelo en la red así como satisfacer algunas sugerencias en la nueva preserie.

Preserie C: Se fabrica una nueva preserie (de cifra no determinada) en la planta donde se introducen las últimas modificaciones. La finalización de la preserie C fija el *Inicio de la Producción*.

Preseries B y C: También tienen por objetivo que los operarios de planta progresen en su curva de aprendizaje y adaptación.

Métodos de evaluación de soluciones

En las diferentes etapas del proceso de diseño, después de cada despliegue de alternativas, corresponde hacer una evaluación de las mismas que sirva de base para la posterior toma de decisiones. Estas evaluaciones en general no se centran sobre un determinado elemento, sino que se deben ponderar distintos aspectos del sistema en base a criterios que a menudo implican juicios de valor.

Para tomar una decisión siempre deben estar presentes los dos elementos siguientes:

- a) *Alternativas*. Como mínimo debe de disponerse de dos alternativas (lo más adecuado es entre 3 y 6) cuyas características deben ser diferentes.
- b) *Criterios*. Hay que establecer los criterios en base a los cuales las alternativas deberán ser evaluadas, así como también la ponderación relativa entre ellas.

Dado que en todas las soluciones de ingeniería intervienen múltiples aspectos que hay que considerar de forma global, en todos los métodos de evaluación aparece el problema de la ponderación de criterios. Existen numerosos métodos de evaluación que pueden agruparse en:

1. *Métodos ordinales*. El evaluador clasifica por orden las diferentes soluciones alternativas para cada criterio. El inconveniente de estos métodos consiste en la dificultad de integrar los resultados de los distintos criterios en una evaluación global, ya que no es sensible a las ponderaciones de los criterios.
2. *Métodos cardinales*. El evaluador debe cuantificar sus juicios en relación a la efectividad de las alternativas y a la importancia de los criterios. Estos métodos facilitan la integración de las evaluaciones parciales en un resultado global, pero a menudo la cuantificación puede resultar arbitraria, especialmente en las etapas iniciales de diseño.

Método ordinal corregido de criterios ponderados

La mayor parte de las veces, para decidir entre diversas soluciones (especialmente en la etapa de diseño conceptual) basta conocer el orden de preferencia de su evaluación global. Es por ello que se recomienda el *método ordinal corregido de criterios ponderados* que, sin la necesidad de evaluar los parámetros de cada propiedad y sin tener que estimar numéricamente el peso de cada criterio, permite obtener resultados globales suficientemente significativos.

Se basa en unas tablas donde cada criterio (o solución, para un determinado criterio) se confronta con los restantes criterios (o soluciones) y se asignan los valores siguientes:

- | | |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Si el criterio (o solución) de las filas es superior (o mejor; $>$) que el de las columnas |
| 0,5 | Si el criterio (o solución) de las filas es equivalente ($=$) al de las columnas |
| 0 | Si el criterio (o solución) de las filas es inferior (o peor; $<$) que el de las columnas |

Luego, para cada criterio (o solución), se suman los valores asignados en relación a los restantes criterios (o soluciones) al que se le añade una unidad (para evitar que el criterio o solución menos favorable tenga una valoración nula); después, en otra columna se calculan los valores ponderados para cada criterio (o solución).

Finalmente, la evaluación total para cada solución resulta de la suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del respectivo criterio (Caso 1.7).

Caso 1.7

Banco transportable para el rodaje de motocicletas de competición

Este ejemplo procede del proyecto final de carrera del ingeniero Xavier Nadal Ferré que presentó en el año 1994.

Se trataba de diseñar un banco transportable para simular el rodaje y calentamiento de las motocicletas de competición previo a la carrera, con independencia de la presencia del piloto.

La evaluación que se presenta a continuación se refiere a las soluciones alternativas establecidas en la fase conceptual. En este diseño se buscaba un banco que simulase correctamente los efectos de la inercia y la resistencia del aire.

Entre los principios de solución generados durante el diseño conceptual, unos simulan la inercia y la resistencia al aire con dispositivos independientes mientras que, otros, simulan todas las resistencias con un único dispositivo, siendo el control el encargado de adaptarlo a cada situación:

- Solución A: *Volante de inercia y circuito oleohidráulico*
- Solución B: *Volante de inercia y freno aerodinámico*
- Solución C: *Freno de corrientes parásitas*
- Solución D: *Freno hidráulico*
- Solución E: *Generador de corriente y resistencias de disipación de energía.*

Los criterios de valoración que se consideraron más determinantes fueron:

- a) *Bajo peso*, ya que la máquina debe ser transportable y debe de poder ser manejada por 1 o 2 personas, a veces en espacios muy reducidos
- b) *Alta fiabilidad*, ya que su funcionamiento se enmarca en la competición donde cualquier fallo constituye un contratiempo muy serio
- c) *Posibilidad de regulación del freno*, para adaptar las características del banco a diferentes motocicletas

d) *Precio moderado*, ya que es un aparato prescindible que tan solo será adquirido por un equipo de competición si la relación utilidad/precio es aceptable.

A partir de estos datos iniciales se procede a través de los siguientes pasos:

1. Evaluación del peso específico de cada criterio

peso > regulación > mantenimiento = precio

Criterio	<i>peso</i>	<i>regulaci.</i>	<i>manten.</i>	<i>precio</i>	$\Sigma+1$	pondera.
<i>peso</i>		1	1	1	4	0,400
<i>regulación</i>	0		1	1	3	0,300
<i>mantenimiento</i>	0	0		0,5	1,5	0,150
<i>precio</i>	0	0	0,5		1,5	0,150
				suma	10	1

Evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones para cada criterio:

2. Evaluación del peso específico del criterio *peso*

solución B > solución A = solución C > solución D > solución E

Peso	<i>soluc. A</i>	<i>soluc. B</i>	<i>soluc. C</i>	<i>soluc. D</i>	<i>soluc. E</i>	$\Sigma+1$	pondera.
<i>solución A</i>		0	0,5	1	1	3,5	0,233
<i>solución B</i>	1		1	1	1	5	0,333
<i>solución C</i>	0,5	0		1	1	3,5	0,233
<i>solución D</i>	0	0	0		1	2	0,133
<i>solución E</i>	0	0	0	0		1	0,066
					suma	15	1

3. Evaluación del peso específico del criterio *regulación*

solución C = solución D > solución C > solución D = solución E

Regulac.	<i>soluc. A</i>	<i>soluc. B</i>	<i>soluc. C</i>	<i>soluc. D</i>	<i>soluc. E</i>	$\Sigma+1$	pondera.
<i>solución A</i>		0,5	0	0	0	1,5	0,100
<i>solución B</i>	0,5		0	0	0	1,5	0,100
<i>solución C</i>	1	1		0,5	1	4,5	0,300
<i>solución D</i>	1	1	0,5		1	4,5	0,300
<i>solución E</i>	1	1	0	0		3	0,200
					suma	15	1

4. Evaluación del peso específico del criterio *mantenimiento*

Mantenim.	<i>soluc. A</i>	<i>soluc. B</i>	<i>soluc. C</i>	<i>soluc. D</i>	<i>soluc. E</i>	$\Sigma+1$	pondera.
<i>solución A</i>		0	0	0,5	1	2,5	0,166
<i>solución B</i>	1		1	1	1	5	0,333
<i>solución C</i>	1	0		1	1	4	0,266
<i>solución D</i>	0,5	0	0		1	2,5	0,166
<i>solución E</i>	0	0	0	0		1	0,066
					suma	15	1

5. Evaluación del peso específico del criterio *precio*

Precio	<i>soluc. A</i>	<i>soluc. B</i>	<i>soluc. C</i>	<i>soluc. D</i>	<i>soluc. E</i>	$\Sigma+1$	pondera.
<i>solución A</i>		0,5	1	1	1	4,5	0,300
<i>solución B</i>	0,5		1	1	1	4,5	0,300
<i>solución C</i>	0	0		0,5	1	2,5	0,166
<i>solución D</i>	0	0	0,5		1	2,5	0,166
<i>solución E</i>	0	0	0	0		1	0,066
					suma	15	1

Y el cálculo de la tabla de conclusiones:

6. Tabla de conclusiones

Conclusion.	peso	regulac.	menten.	precio	Σ	prioridad
<i>solución A</i>	0,233·0,40	0,10·0,30	0,166·0,15	0,300·0,15	0,1933	3=4
<i>solución B</i>	0,333·0,40	0,10·0,30	0,333·0,15	0,300·0,15	0,2583	1
<i>solución C</i>	0,233·0,40	0,30·0,30	0,266·0,15	0,166·0,15	0,2483	2
<i>solución D</i>	0,133·0,40	0,30·0,30	0,166·0,15	0,166·0,15	0,1933	3=4
<i>solución E</i>	0,066·0,40	0,20·0,30	0,066·0,15	0,066·0,15	0,1067	5

La solución B es la mejor situada, a poca distancia de la solución C. Siguen las soluciones A y D (iguales), mientras que la solución E queda a mucha distancia.

Para completar la comparación entre las soluciones B y C, se puede variar la relación en el orden de algún criterio (o solución) en el que haya alguna duda y contrastar los nuevos valores obtenidos. Por ejemplo, dando la misma ponderación al criterio peso para las soluciones A y B, se obtienen estos nuevos resultados: Solución A: 0,2317; Solución B: 0,2617. Ahora los valores se han invertido.

1.8 Organización y equipo humano

Modificaciones en la organización interna

La organización tradicional de las empresas en departamentos por funciones y con una dirección jerárquica es adecuada para promover la profesionalidad y la eficiencia de las actuaciones pero no asegura la eficacia del producto en el mercado.

La implantación de la ingeniería concurrente, con la necesidad de fomentar una visión y una gestión globales de los proyectos, ha acabado afectando las formas de organización de las empresas que la adoptan. Aparecen dos elementos organizativos nuevos: el *equipo pluridisciplinario de diseño*, y el *gestor de proyecto* (en inglés, *project manager*). El primero asegura una orientación colegiada y plural del proyecto mientras que, el segundo, asegura su gestión global e integrada.

Equipo pluridisciplinario de diseño

Está formado por un número reducido de miembros (suelen ser de 3 a 8), generalmente de buena cualificación profesional y elevada responsabilidad funcional, de dentro o de fuera de la empresa, que responden a diferentes puntos de vista en relación al proyecto (las diferentes voces). Sus misiones colectivas son las de debatir, asesorar, y colaborar en la toma de decisiones en relación al proyecto. Las reuniones son escasas (ya que los costes son elevados), pero requieren una buena preparación.

Gestor de proyecto

Es un técnico gestor orientado al producto y al mercado, que tiene la responsabilidad de impulsar y coordinar el día a día del proyecto en todos sus aspectos, de principio a fin, facilitando el flujo de información y asegurando el cumplimiento de los objetivos y plazos señalados. Generalmente responde ante el gerente de la empresa o del responsable de I+D y entre sus misiones figuran las de procurar los medios materiales y humanos necesarios, tanto de dentro de la empresa (diferentes departamentos y servicios) como de fuera (empresas suministradoras, ingenierías, colaboraciones con universidades y centros tecnológicos), así como la de coordinarse con el equipo pluridisciplinario de diseño.

Como consecuencia de la introducción de estas nuevas figuras en las empresas, se están perfilando dos nuevas formas de organización que articulan fundamentalmente la situación del gestor de proyecto dentro de la estructura de funciones de la empresa: la *organización matricial* y la *organización por proyectos*.

A continuación se describen y se evalúan las ventajas e inconvenientes del sistema tradicional y de los sistemas alternativos propugnados por el enfoque concurrente:

*Sistema tradicional:**organización por funciones*

Esta organización pone el énfasis en los departamentos por funciones (financiero, marketing, diseño, producción, comercial, posventa) y en la toma de decisiones jerárquica.

Los proyectos avanzan de forma lineal y la responsabilidad pasa por diferentes departamentos sin coordinación previa: diseño crea un producto en función de los requerimientos; producción se responsabiliza de fabricarlo (y de hacerlo fabricable); comercial se esfuerza por colocar el producto en el mercado y finalmente posventa intenta resolver las incidencias derivadas de su uso.

Esto puede generar importantes desajustes: Por ejemplo, producción puede encontrarse con que debe rehacer parte de un diseño para hacerlo fabricable pero, a la vez, puede desnaturalizar su funcionalidad. Esta forma de proceder es conocida como *comunicarse por encima de la pared* (Figura 1.12)

*Sistema mixto:**organización matricial*

Sistema mixto que mantiene la organización tradicional por funciones y responsabilidades jerárquicas (el eje de *cómo hacer las cosas*), donde se le superpone una organización por proyectos (o líneas de proyecto) con un *gestor de proyecto* al frente (el eje de *qué hay que hacer*). Los técnicos que intervienen en los trabajos dependen de los directores de los departamentos en los aspectos profesionales y del gestor de proyecto, para la consecución de objetivos y el cumplimiento de plazos. Los gestores del proyecto se apoyan y asesoran en un equipo de diseño pluridisciplinario y responden ante un director de proyectos de innovación.

A pesar de que la gestión resulta más compleja y la doble dependencia obliga a resolver y a superar muchos conflictos, puede ser una forma de mantener las ventajas profesionales de la división por funciones y, a la vez, introducir el principio de la gestión por proyectos que requiere la ingeniería concurrente.

*Sistema concurrente**Organización por líneas de productos*

Esta alternativa da un paso más y el peso de la organización recae en divisiones de la empresa (como si fueran pequeñas unidades de negocio en su seno), cada una de las cuales se responsabiliza globalmente de una línea de producto y goza de una gran libertad de acción. El responsable de la división hace las funciones del *gestor de proyecto* y dirige un equipo que suele caracterizarse por la motivación y el entusiasmo. Puede asesorarse en un equipo de diseño pluridisciplinario y responde ante la dirección. Esta estructura funciona de forma satisfactoria mientras no sea excesivamente grande.

Una versión más radical de este modelo consiste en organizar cada división como una empresa independiente. Puede ser adecuado para el desarrollo de proyectos de riesgo muy elevado o proyectos de gran envergadura y complejidad.

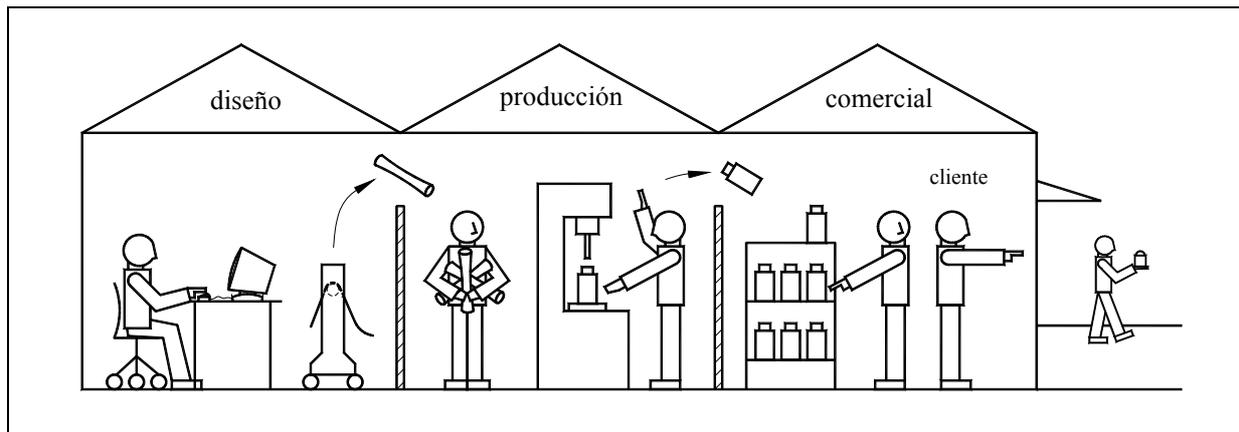


Figura 1.12 Una consecuencia de la organización tradicional por funciones: *comunicarse por encima de la pared*

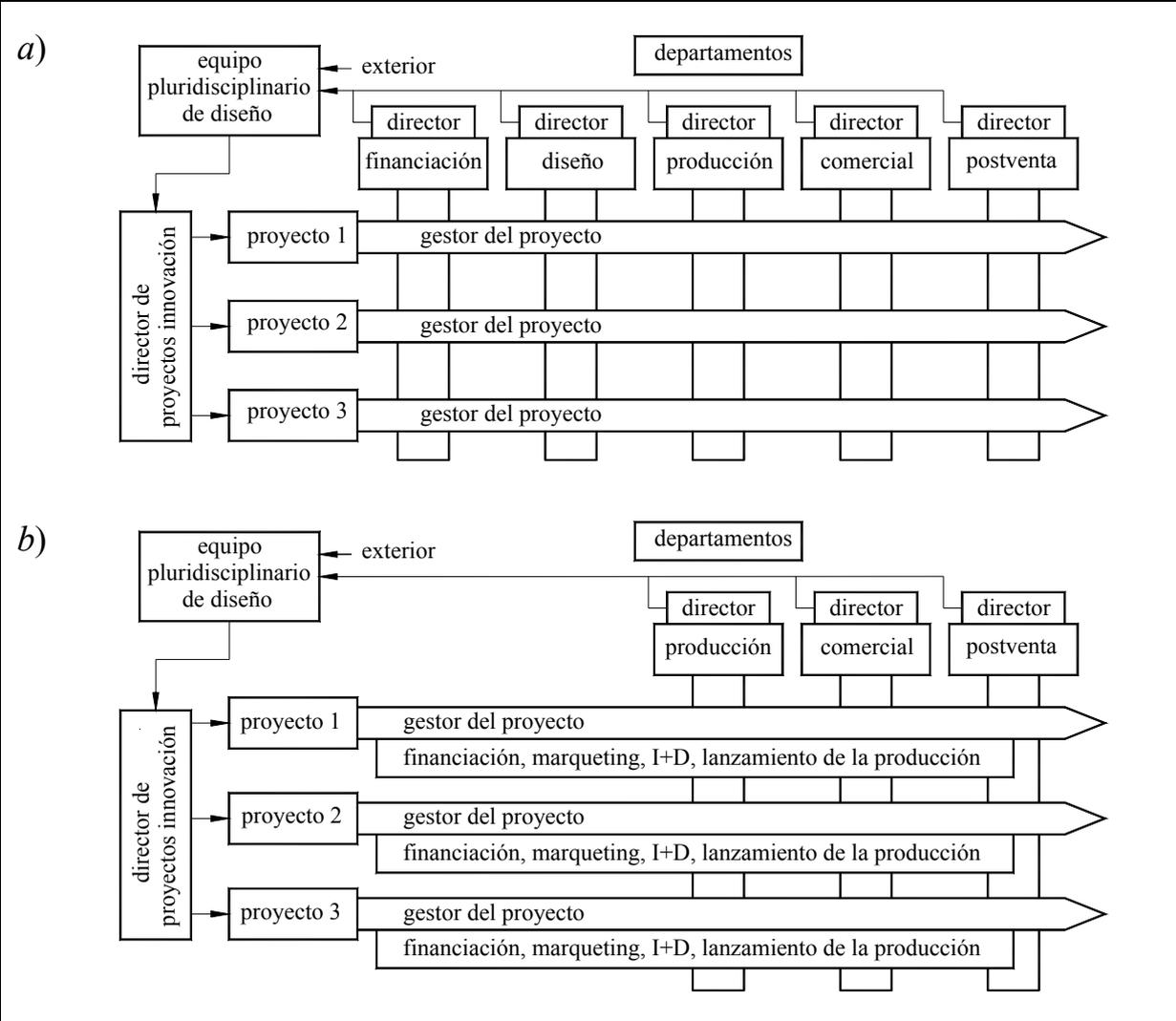


Figura 1.13 Sistemas de organización propugnados por un enfoque concurrente: a) Organización matricial; b) Organización por líneas de producto

Modificaciones en las relaciones exteriores

Hace unas décadas, las grandes industrias se apoyaban en procesos integrales en los que se fabricaba la mayor parte las piezas y componentes de sus productos. Progresivamente, estos procesos fueron incorporando componentes de mercado y subcontratando la fabricación de determinadas piezas específicas de tal forma que hoy día, muchas industrias con producto propio centran sus actividades en el diseño, el montaje y la comercialización. En este contexto, los precios y los plazos priman en las relaciones exteriores.

Sin embargo, la ingeniería concurrente (desarrollada durante las dos últimas décadas) avanza un paso más y no tan sólo contrata la fabricación de piezas y componentes sino que recurre a los suministradores para compartir (o delegar) parte de sus desarrollos tecnológicos.

Consolidados los mercados de componentes y de subcontratación, en el marco de la ingeniería concurrente aparecen otros mercados probablemente aún con más capacidad de transformación como los servicios a las industrias y los mercados de tecnologías cubiertos por asesorías, agentes de patentes, ingenierías, centros tecnológicos y universidades, entre otros. La industria de la automoción, pionera en muchos aspectos, ha dado un gran impulso a estas tendencias y en estos momentos se habla de *ingeniería colaborativa* donde, además de los precios y los plazos, se incorporan otros aspectos relacionados con el servicio, la calidad y el entorno.

Las nuevas tecnologías de la información y de la comunicación, cuyo paradigma es Internet, están dando un impulso definitivo para dejar el anterior sistema productivo jerárquico (autosuficiente) y entrar en un nuevo sistema productivo en red (todos necesitamos de todos) en cuyo nuevo marco hay que saber moverse y donde probablemente van a sacar más partido las pequeñas empresas que se organicen en red (o en grupo) que las multinacionales.

Así, pues, las relaciones exteriores de las empresas dejan de ser la excepción para convertirse en la regla y por lo tanto, los aspectos tecnológicos y organizativos relacionados con la ingeniería colaborativa pasan a ser elementos imprescindibles de las actividades de las empresas y de forma muy especial, de los procesos de diseño y desarrollo de los productos y servicios. Entre estos aspectos se pueden citar:

- La estructuración modular de los productos
- La especificación y el diseño conceptual
- Los equipos multidisciplinarios y los gestores de proyectos
- La contratación de servicios y de tecnología
- Las herramientas de modelización y simulación
- Los controles de calidad y los ensayos
- Las bases de datos compartidas

En varias partes del texto se incide sobre estos conceptos.